библиотека

по





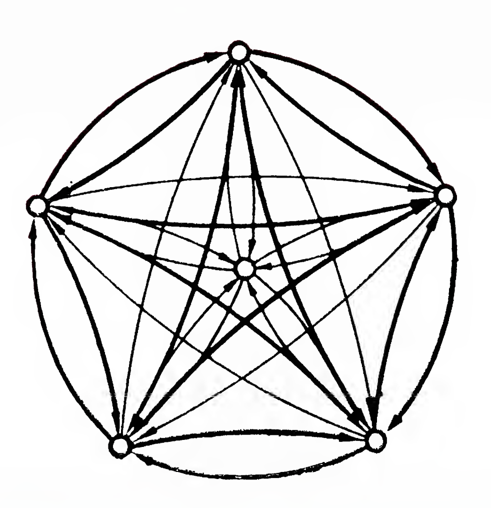







И. Н. Евтушенко

ТЕЛЕМЕХАНИКА В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

БИБЛИОТЕКА ПО АВТОМАТИКЕ

Выпуск 406

И. Н. ЕВТУШЕНКО

ТЕЛЕМЕХАНИКА В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ на промышленных предприятиях



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1970

6Ф6.8
Е 27
УДК 658.284:621.398

Евтушенко И. Н.

Е 27 Телемеханика в автоматизированных системах управления на промышленных предприятиях. М., «Энергия», 1970.

80 с. с илл. (Б-ка по автоматике. Вып. 406).

Книга посвящена вопросам построения телемеханических систем и структур управления при комплексной автоматизации на промышленных предприятиях.

Описываются особенности промышленных предприятий как объектов применения телемеханики. Дается классификация структур связи информационно-управляющих вычислительных машин с объектами при помощи телемеханических систем и рассматриваются некоторые общие вопросы проектирования таких систем.

Излагается специфика построения цепей позиционного телеконтроля и телеуправления, телеизмерений текущих и интегральных параметров, телекоррекции заданий регуляторам, телемеханического ввода данных и межмашинной телемеханической (дистанционной) связи. Рассматриваются способы избирания объектов и пунктов, а также алгоритмы связи информационно-управляющих вычислительных машин с телемеханическими устройствами.

Книга рассчитана на широкий круг инженеров и научных сотрудников, занимающихся разработкой телемеханических и информационно-управляющих систем и автоматизацией производственных процессов. Книга может быть полезна аспирантам и студентам соответствующих специальностей.

3-3-13 / 241-69 **6Ф6.8**

ЕВТУШЕНКО ИВАН НИКОЛАЕВИЧ

Телемеханика в автоматизированных системах управления на промышленных предприятиях

Редактор *Г. А. Гельман*

Технический редактор *М. П. Осипова* Корректор *З. Б. Шлайфер*

Сдано в набор 23/III 1970 г. Подписано к печати 11/VI 1970 г. Т-09741
Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 1
Усл. печ. л. 4,2 Уч.-изд. л. 5,81
Тираж 8 000 экз. Цена 31 коп. Зак. 1155

Издательство „Энергия". Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР. Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие современных автоматизированных систем управления (АСУ) приводит к органическому сочетанию технических средств автоматических измерений, регулирования, контроля и управления, вычислительной техники, телемеханики и связи в единые информационно-управляющие комплексы. В этих комплексах существенный вес по сложности построения, капитальным затратам и потерям от ненадежности и неточности может приходиться на линии (каналы) связи и аппаратуру телемеханической и дистанционной связи информационно-управляющих вычислительных машин с рассредоточенными объектами и оперативным персоналом, а также машин и объектов между собой. В отличие от обычных систем телеуправления, телесигнализации, телеизмерения (ТУ—ТС—ТИ) и систем дистанционного измерения, контроля и управления телемеханические системы связи (ТСС) информационно-управляющих вычислительных машин выполняют ряд новых функций, передают больше информации при разветвленных взаимосвязях между разнородными объектами и обычно работают в сложных технических комплексах.

Несмотря на все возрастающую важность применения методов и средств телемеханики в АСУ промышленными предприятиями (ПП), в литературе эти вопросы отражены мало. Систематизацию и обобщение уже имеющихся в этом направлении результатов сдерживают, по-видимому, пока еще довольно скромный опыт применения конкретных устройств ТСС в условиях ПП, непрерывное совершенствование этих устройств и их сложность.

Тем не менее представляется вполне оправданной попытка систематизировать некоторые новые результаты, касающиеся проектирования структур и принципов построения ТСС ближнего действия в условиях ПП. Важность именно проектирования структур определяется тем, что на ПП и при наличии типовых элементов и блоков в большинстве случаев структура, т. е. количество компонент и принятая конфигурация взаимосвязей между ними, определяет основные характеристики ТСС. Применение различных подходов при проектировании помогает преодолеть трудности многообразия и многовариантности задач повышения эффективности и качества ТСС, учесть конкретную специфику объекта и реализовать возможности современных агрегатно-блочных устройств.

Из всех вопросов построения структур ТСС ближнего действия в ограниченном объеме предлагаемой книги осуществлена попытка изложить некоторые специфические и наиболее важные материалы, в основном применительно к металлургическим и химическим предприятиям. Автор надеется, что содержащаяся в книге определенная систематизация имеющегося материала и описание ряда структур ТСС будут полезны.

Пользуясь возможностью, автор выражает признательность доктору техн. наук, проф. В. А. Ильину и доктору техн. наук, проф. Ф. Е. Темникову за ценные критические замечания по содержанию рукописи.

Автор благодарен руководству Научно-исследовательского института автоматизации черной металлургии, особенно руководству Запорожского отдела института, за поддержку настоящей работы, а также многим сотрудникам института за ценные советы при обсуждении ряда из рассматриваемых в книге вопросов.

Большую признательность автор хочет выразить редактору книги инж. Г. А. Гельману, много сделавшему для ее улучшения.

Автор будет благодарен за конструктивную критику и пожелания читателей.

Автор

Глава первая

ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ КАК ОБЪЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

1. Функции автоматизированных систем управления

В условиях ПП требования к проектированию ТСС определяются функциями, организацией и структурой систем, в которых работают эти ТСС, информационными и пространственными условиями ПП, особенностями схем и каналов связи, их надежностью, а также влиянием помех.

Стремление к наиболее эффективному управлению приводит к созданию автоматизированных систем управления (АСУ). Важнейшей особенностью таких систем является иерархичность. Эта особенность может проявляться либо в иерархичности функций, либо в иерархичности схем, либо в более сложном, комбинированном характере иерархичности. Примером иерархии функции являются четыре ступени функций: регулирование, управление, приспособление и самоорганизация [Л. 1]. С точки зрения применения телемеханической передачи информации удобно различать четыре ступени комбинированной иерархии управления: 1) непосредственное или автоматическое управление технологическими процессами; 2) централизованное диспетчерское управление транспортными и другими процессами; 3) централизованное оперативное управление совокупностью технологических, транспортных и производственных процессов; 4) неоперативное управление (обработка данных для учета, статистики, перспективного планирования и т. д.). Такое разделение в ряде случаев, конечно, невозможно и может быть проведено только условно.

На уровне непосредственного управления телемеханическая передача может применяться для автоматических телезащит и телеотключения в энергохозяйстве, телеблокировок на железнодорожном и поточном транспорте.

Весьма широко применяется телемеханическая передача на уровне диспетчерского управления в системах электрической централизации стрелок и сигналов, телемеханизации энергохозяйства и диспетчеризации основных технологических цехов. Здесь требуется передача сообщений позиционной телесигнализации (ТС), телеуправления (ТУ), телеизмерений текущих значений параметров (ТИТ) и некоторых специальных сообщений.

В настоящее время интенсивно разрабатываются принципы телемеханической передачи информации на уровне оперативного управления. В системах оперативного управления, кроме передачи

указанных выше сообщений, может осуществляться передача: позиционных сообщений о начале (конце) процесса; кодовых сообщений, например, о номерах подвижных единиц, геометрических размерах изделий; сообщений интегральных значений параметров за некоторое время; комбинированных сообщений данных, вводимых вручную оперативным персоналом, и т. д. Кроме того, здесь нередко осуществляется автоматическая цифровая телемеханическая связь между вычислительными машинами (ВМ).

Наконец, на уровне неоперативного управления (обработки данных) осуществляется автоматическая и полуавтоматическая передача данных не в реальном масштабе времени для целей статистического учета и перспективного планирования.

2. Телемеханические сообщения

Телемеханическую информацию, передаваемую для реализации рассмотренных функций, можно классифицировать по ряду признаков [Л. 2—6]. В централизованных системах информацию от объекта называют известительной или контрольной, а информацию к объекту — командной или управляющей. В зависимости от уровня иерархии управления информация разделяется на оперативно-технологическую и производственно-статистическую (ПСИ). В системах оперативного управления можно различать статическую и динамическую информации. Статическую информацию получают с объекта в промежутках между изменениями его состояния, а динамическую — в момент изменения состояния. Можно также различать информацию по прерывности или непрерывности по множеству (параметру) и во времени.

С точки зрения информационной специфики телемеханических сообщений представляется целесообразным различать двухпозиционные, текущие, интегральные и кодовые сообщения, а также цифровую информацию. Двухпозиционные сообщения типа «есть авария — нет аварии», «включить — отключить» и т. д. могут передаваться на всех уровнях иерархии управления. Особенностями требований передачи этих сообщений является недопустимость пропусков извещений и ложных команд, а также задержек сообщений.

Текущие сообщения передаются на ступенях диспетчерского и оперативного управления и несут информацию об амплитудных значениях непрерывных величин. Важнейшим требованием передачи этих сообщений является точность передачи, а часто также и быстродействие.

Интегральные сообщения наиболее характерны для оперативного управления. Это сообщения об интегральных значениях расходов непрерывных во времени процессов (расходов газа, пара, воды и т. п.), прерывных во времени (учет транспортных единиц, готовой продукции) и комбинированных процессов (учет времени простоев по причинам, учет расходов сырья в системах автоматического взвешивания и т. д.). Особенностью требований передачи интегральных сообщений являются точность, недопустимость потерь накопленной информации и возможность значительных задержек передачи (исключая передачу на уровне непосредственного управления, например, при дозировании).

Все указанные сообщения при некоторых условиях передачи могут быть отнесены к кодовым сообщениям. Кроме того, кодовые сообщения передаются от ряда многопозиционных датчиков (дат-

чиков номера состава, датчиков геометрических размеров, пультов ручного ввода, регистров ВМ и т. д.). Эти сообщения используются также в цепях кодового телеконтроля, цифровой телекоррекции заданий (уставок) регуляторам, телеиндикации и телерегистрации, избирания объектов и пунктов, а также для цифровой телемеханической связи между ВМ. В тех случаях, когда в кодовом сообщении нечетко выражена указанная выше специфика, требования для передачи этих сообщений являются обычными для требований передачи цифровой информации.

При передаче больших массивов цифровой информации специфика двухпозиционных, интегральных и других сообщений совершенно стирается и важнейшими являются требования высокой пропускной способности и малой вероятности ошибки.

3. Координаты и взаимосвязи

Рассматриваемые условия отличаются разветвленными взаимосвязями и комбинированным размещением объектов промышленного железнодорожного транспорта, энергохозяйства, внутрицехового транспорта и крупных технологических объектов. Расстояния передачи здесь небольшие и могут достигать 5—10 *км*, иногда 15—20 *км*. Взаимосвязи же объектов (пунктов) в условиях крупных ПП достаточно сложны. Одними из простых являются взаимосвязи между линейными объектами (путевыми реле и светофорами) железнодорожного транспорта. Это взаимосвязи типа «каждый с первыми и вторыми соседями в цепочке» (рис. 1,*а*). Наиболее распространенными являются взаимосвязи вида «пункт управления (*ПУ*) с каждым контролируемым пунктом (*КП*)» (рис. 1,*б*). Известны также взаимосвязи типа «каждый одной группы с каждым другой группы» (рис. 1,*в*). Такими, например, являются взаимосвязи при телеуправлении крышками нагревательных колодцев с кранов [Л. 7]. Более сложными являются взаимосвязи типа «каждый со всеми остальными». Этот вид взаимосвязей характерен для вызывной ТС, например при обслуживании группы распределенных объектов одной бригадой. Наконец, можно представить предельный случай взаимосвязей в виде полного графа, т. е. взаимосвязи типа «каждый индивидуально с каждым» (рис. 1,*г*).

Контролируемые объекты размещены по площади предприятия, часто близкой к прямоугольной форме, либо сосредоточенными группами, либо отдельно.

4. Каналы связи и сигналы

Средства телемеханической передачи образуются каналами связи, логическими и функциональными элементами и сигналами.

Каналы связи телемеханики имеют существенные отличия для стационарных (неподвижных) и подвижных объектов. Наиболее широко используемыми каналами связи для стационарных объектов являются телефонные, сигнальные, шахтные и другие кабели, например специальные экранированные кабели [Л. 8]. В отдельных случаях для телемеханической передачи информации используются существующие сети АТС. На шахтах в качестве каналов телемеханики иногда используются кабельные сети низкого напряжения электроснабжения шахт.

Большое значение в условиях ПП, особенно металлургических комбинатов, имеет надежная связь с подвижными объектами: локомотивами, кранами, экскаваторами и т. д. Для этих целей используется радиосвязь. Однако в ряде случаев использование радиосвязи затрудняется из-за неустойчивой работы в различное время суток, большого количества мертвых пространств, ограниченного диапазона частот, относительной сложности радиоаппаратуры и окружающих

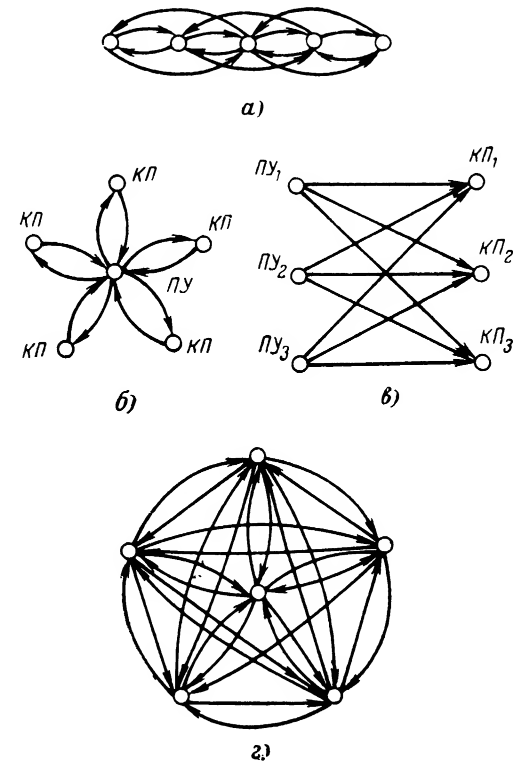


Рис. 1. Графы взаимосвязей между объектами (пунктами) телемеханики.

условий (высоких температур, сильных вибраций и т. д.). Поэтому иногда используют контактные провода, питающие и специальные троллеи в сочетании с передачей сигналов на низкой (от 1 000 до 6 000 *гц*) или высокой (от 10 до 40 *кгц*) частоте. Предпринимаются попытки организации специальной индуктивной связи, связи с помощью проволочных контуров, а также световых лучей.

Рассмотрим теперь кратко сигналы, которые могут использоваться для телемеханической передачи информации в условиях ПП. К сигналам предъявляются требования универсальности для использования как в местных системах контроля и регулирования, так и

для связи с ВМ, помехоустойчивости при передаче и экономичности реализующих сигнал устройств. Обычно связь с рассредоточенными датчиками для непрерывных процессов осуществляется с помощью следующих унифицированных сигналов: 1) переменный ток частотой 50 *гц*, 1—0—1 *в*, 0—2 *в*; 2) частота 4—8 или 1,5—2,6 *кгц*; 3) постоянный ток 0—5 *ма* (0—20 *ма*), (0—100 *ма*). В необходимых случаях указанные сигналы могут подвергаться преобразованиям в один из унифицированных видов сигнала, а также во время-импульсные (фазо-импульсные) и кодо-импульсные. В случае отсутствия выходного сигнала с объекта угол поворота рамки вторичного прибора может быть преобразован во время-импульсные, широтно-импульсные или кодо-импульсные сигналы. Разрабатываются системы, в которых непрерывная информация может передаваться на расстояние посредством временного сдвига (задержки) между копиями одного случайного сигнала (например, системы корреляционного телеизмерения скоростей или расходов). Информация о приращении интегральных значений непрерывных параметров, пройденных транспортных единицах, дозах взвешивания и т. д. может передаваться на расстояние посредством число-импульсных (интегрально-импульсных) сигналов. Для передачи дискретных сообщений широко используется передача импульсами постоянного тока.

5. Ненадежность и помехи

Ненадежность телемеханической передачи может вызываться следующими причинами: отказами элементов схем и связей, сбоями схем, влиянием помех. Следствием этих причин могут быть искажения, задержки и потери информации.

Рассмотрим особенности указанных видов ненадежности и соотношение этих видов ненадежности в общей ненадежности. Первые результаты эксплуатации современных ТСС позволяют сделать следующие заключения, которые требуют дальнейших уточнений и корректировки. Период приработки аппаратуры составляет примерно год [Л. 15], а кабелей связи — несколько лет [Л. 16]. Вероятность отказов в значительной степени зависит от окружающих условий. Наработка на сбой значительно (в несколько раз) меньше наработки на отказ.

Для построения безопасно действующих схем и эффективного резервирования важное значение имеет учет асимметрии отказов, например соотношения короткого замыкания и обрыва при отказах элементов. Для некоторых элементов эти соотношения приведены в табл. 1 [Л. 18—20].

Таблица 1

Показатели асимметрии отказов некоторых элементов

Элемент	Короткое замыкание, %	Обрыв, %
Транзисторы	50 — 90	15,8 — 30
Диоды	47,0	36,8
Конденсаторы	57,4	4,7
Резисторы	41,4	27,2

Отношение числа неисправностей проводных линий связи к неисправностям бесконтактной аппаратуры при телемеханизации энергоснабжения на участке железной дороги составляет примерно 20—30% [Л. 15]. Аналогичное отношение при контактной аппаратуре телемеханики и кабельных линиях связи в телемеханизированных системах энергоснабжения металлургических комбинатов может составлять 10—30% [Л. 21]. При сравнительно невысокой стоимости линий связи в условиях ПП и подобных соотношениях отказов линий и аппаратуры телемеханики значительно повышается целесообразность введения избыточности в сеть связи.

Отказы в сетях питания для ТСС с синхронизацией от общей сети ПП приводят к отказу системы в наиболее ответственные моменты времени. Кратковременные срывы питания могут привести к потерям накопленной информации. Отношение числа отказов питания к числу отказов аппаратуры может достигать нескольких десятков процентов. Этот факт важно учитывать при построении схем с памятью для исключения потерь накопленной информации в случаях повреждения питания.

Существенное влияние в условиях ПП на системы ТСС имеют помехи. Дадим сначала краткую общую характеристику помех.

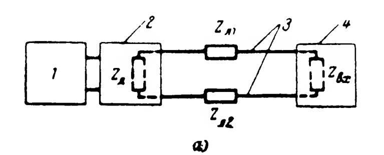
По типу взаимодействия с сигналом помехи делятся на аддитивные и мультипликативные. В случае аддитивных помех на вход приемника действует сумма сигнала и помехи. При мультипликативных помехах входной сигнал равен произведению сигнала и помехи. Мультипликативные помехи вызываются прерываниями в линии связи или изменениями ее сопротивления и другими причинами. Наиболее распространены аддитивные помехи, среди которых выделяют синусоидальные, импульсные и флюктуационные помехи. Синусоидальные помехи являются основными или более высокими гармоническими составляющими частоты сети. Импульсные помехи представляют собой случайную последовательность импульсов со случайной амплитудой, длительностью и другими параметрами. Эти помехи обычно имеют индустриальное происхождение (коммутации, искрообразование, электросварка и т. п.). Считают, что импульсные помехи в условиях ПП чаще всего появляются группами (вспышками).

Рассмотрим теперь особенности влияния помех в сетях питания, соединительных линиях с датчиками и каналах связи между телемеханическими пунктами. Помехи в сетях питания обусловлены включением и отключением различных потребителей, высшими гармоническими и комбинационными составляющими и другими причинами. Импульсные помехи от сети могут возникать на любой частоте в диапазоне от 150 до 10 000 *гц* и выше. Амплитудные значения импульсов этого вида помех могут составлять единицы и десятки вольт. Эти помехи проникают в аппаратуру в основном через емкость паразитной связи между первичной и вторичной обмотками силового трансформатора блока питания и емкостью монтажа, определяемой емкостью между проводами соединительных линий и землей. Особенно опасными являются такие помехи при повреждениях или неблагоприятных режимах работы питающей сети.

Обратимся теперь к особенностям влияния помех в измерительных цепях связи с датчиками [Л. 22—24]. Эти помехи вызываются гальваническими, емкостными и индуктивными связями между измерительными цепями (преобразователь, линия связи, усилитель) и окружающими их телами (земля, силовая сеть, силовые кабели и

т. д.), которые часто являются сильными источниками помех. Кроме того, такие помехи могут вызываться паразитными э. д. с. в измерительных цепях.

Различают три основных вида рассматриваемых помех: поперечные (помехи нормального вида, рис. 2,*а*), возникающие за счет связанных магнитных полей, пронизывающих площадь витка, образованного выходной цепью датчика, проводами измерительной линии и входными цепями измерительного преобразователя; продольные (помехи общего вида, рис. 2,*б*), возникающие в измерительной ли-



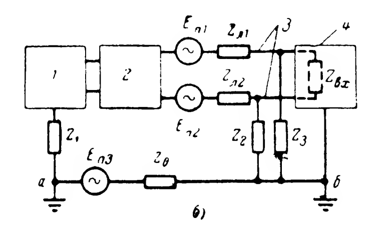


Рис. 2. Эквивалентные схемы измерительных цепей при влиянии помех.

а — поперечных (нормального вида); *б* — продольных (общего вида) и из-за влияний по цепям заземления; *1* — объект, параметр которого измеряется; *2* — датчик; *3* — линия связи; *4* — измерительный нормирующий преобразователь; $Z_д$, $Z_{л1}Z_{л2}$, $Z_{вх}$ — сопротивления выходных цепей датчика, каждого из проводов измерительной связи и входных цепей преобразователя соответственно; Z_1, Z_2, Z_3 — сопротивления утечек входных зажимов преобразователя и датчика по отношению к земле; $E_{п1}$, $E_{п2}$ — э. д. с. помехи, наведенные в первом и во втором контурах, образованных соответственно первым и вторым проводами измерительной линии и землей; Z_0 — сопротивление заземляющего провода; $E_{п3}$ — напряжение, возникающее между точками *а* и *б*.

нии за счет связанных переменных магнитных полей, пронизывающих площадь витков, образуемых каждым из проводов измерительной линии и заземляющей шиной; помехи, возникающие в измерительной системе за счет разности потенциалов между различными заземляющими точками схемы (рис. 2,*б*). Поперечные помехи, действуя на вход усилителя, искажают полезный сигнал. Продольные помехи опасны тем, что при определенных условиях могут вызвать поперечные помехи. Продольные помехи обычно значительно превосходят полезный сигнал, получаемый от многих видов преобразователей (термопары, мосты с термометрами сопротивления и т. п.). Помехи по цепям заземления и продольные помехи могут достигать нескольких вольт. Вопросы борьбы с указанными помехами кратко рассмотрены в § 11.

Приведем теперь некоторые данные, характеризующие влияние помех в каналах связи для телемеханической передачи. Для исследования влияния помех в выделенных двухпроводных телефонных линиях была выбрана кабельная линия длиной 3,5 *км* в общем кабеле АТС промышленного предприятия [Л. 25]. Из полученных данных испытания этой линии в течение 20 *ч* следует, что при амплитуде сигнала 2,5 *в* искажение сигналов является весьма редким. Это характеризует выделенную проводную линию как канал связи первого класса, в котором вероятность появления искажения одного знака меньше 10^{-4}—10^{-5}.

В заключение приведем некоторые данные, характеризующие влияние помех в радиоканалах телемеханики. Средневероятное зна-

чение напряженности поля помех на рудных карьерах на частоте 0,15 *Мгц* составляет 30—38 *дб* и имеет тенденцию к снижению до 19—26 *дб* на частоте 15 *Мгц*. Максимальное значение напряженности составляет 46 *дб* на частоте 0,15 *Мгц*. При этих уровнях помех для создания удовлетворительных отношений сигнал/помеха в точках приема потребовался бы уровень сигнала порядка 70 *дб*. Такое увеличение мощности передатчика создает помехи для соседних служб.

В диапазоне 40—150 *Мгц* уровень поля помех не превышает 24 *дб* и этот диапазон считается целесообразным использовать в качестве каналов связи и телемеханики [Л. 26].

Исследование уровня помех в железнорудных карьерах показало, что интенсивность помех, отнесенная к полосе частот, на частоте 27,12 *Мгц* составляет $\sigma_1 = 1{,}67$ *мкв/м·кгц*, а на частоте 30,45 *Мгц* $\sigma_2 = 1{,}1$ *мкв/м·кгц* [Л. 27]. Большие уровни импульсных помех вызываются контактной сетью электровозов, величина всплесков которых при указанных частотах в полосе 60 *кгц* может достигать 200—1 000 *мкв/м*.

Глава вторая

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН С ОБЪЕКТАМИ

6. Исходные положения

Общим принципом проектирования автоматизированных систем управления с применением телемеханики являются анализ важнейших требований и условий основной задачи в целом, разложение основной задачи на частные, оценка возможностей решения этих задач (подвариантов решения) и комбинирование решений частных задач для принятия решения по основной задаче. Для этого необходимы систематизация исходных данных, выбор совокупности критериев и исследование взаимосвязей между критериями различных подходов, упорядочение различных вариантов и подвариантов построения и составление, если возможно, соответствующих математических моделей, а также набор алгоритмов для комбинирования различных подвариантов.

Проектирование систем требует комплексного рассмотрения частей, подходов, методов и этапов [Л. 28].

При анализе ряда возможных вариантов или синтезе средств телемеханической передачи информации в рассматриваемых системах наиболее существенными отличиями вариантов являются структуры их построения, т. е. количество составляющих элементов, узлов, блоков и принятые конфигурации информационных, схемных, функциональных и других взаимосвязей между ними. Совокупность всех задач проектирования структуры обычно решается поэтапно путем последовательных приближений к наилучшему варианту. При этом на каждом этапе применяются различные подходы проектирования, приведенные в табл. 2, или их сочетание [Л. 28—51].

Таблица 2

Подходы проектирования ТСС

Подходы	Решаемые задачи
Системный	Определение цели управления, функций системы управления и основного принципа организации управляющей системы (анализ всей совокупности требований и условий и специфики исходных данных; определение основных компонент; анализ взаимосвязей между компонентами и формулирование важнейших требований в каждом компоненте; установление целесообразных сочетаний и последовательности объединения компонент для эффективного достижения общей цели управления)
Функциональный	Определение иерархичности системы и размещение функций (выбор числа ступеней и центров в ступени; размещение функций по ступеням и центрам; прикрепление объектов к центрам и т. д.).
Пространственный	Размещение центров и каналов связи (определение кратчайших путей, оптимальных координат и т. д.).
Информационный	Представление величин в схемах (дискретизация и квантование, кодирование и модуляция, разделение сигналов и т. д.).
Алгоритмический **(динамический)**	Организация процесса преобразования, передачи и переработки информации (определение рационального числа приемо-передающих устройств, информационных взаимосвязей между блоками, объемов памяти, порядка обслуживания и т. д.).
Блочный	Определение числа блоков и схемных взаимосвязей между ними (разбиение всей схемы на блоки, определение условий работы каждого блока и т. д.).
Логический	Построение логических схем (построение таблиц переходов и выходов, минимизация и кодирование состояний, построение системы булевых функций возбуждения и выходов, минимизация булевых функций, построение схем)
Схемный	Выбор конфигурации схемы и ее параметров (инженерный анализ множества требований, изобретательность, построение пробной схемы, грубый анализ, макетирование и т. д.)
Надежностный	Борьба с ненадежностью (при всех подходах проектирования, определение целесообразных уровней надежности, оценка надежности, введение избыточности, диагностика и т. д.)
Технический	Подготовка конструкторской и проектной документации (монтажных схем и технической документации для завода, проектной привязки к объекту и т. д.)

При проектировании систем широко используются методы моделирования и оптимизации в сочетании с аналитическими методами анализа и синтеза, учитывающими конкретную специфику задачи.

Один из принципов проектирования — своевременное формулирование цели, декомпозиция (разложение) и агрегация. Другой важнейший принцип—расчленение проекта на несколько фаз или стадий и принятие нового решения о целесообразности дальнейшей работы над проектом лишь после окончания каждой предыдущей стадии.

Различают четыре этапа жизни системы: теоретический этап (этап принятия концепции), проектное задание (этап принятия решения), этап реализации и этап эксплуатации.

Перейдем теперь к классификации структур ТСС. Здесь в сущности дается вариант разложения общей задачи структурного построения ТСС на частные задачи, иначе говоря, рассматривается качественный анализ общей задачи.

7. Классификация структур телемеханических систем связи информационно-управляющих машин с объектами и основные определения

Структуры телемеханических систем связи могут быть классифицированы по нескольким основным признакам [Л. 2, 4, 9 и др.]: подходам проектирования, основным структурным компонентам системы (выполняемым операциям), принципам построения, передаваемым сигналам и т. д. В соответствии с выделенными выше подходами проектирования ТСС (см. табл. 2) можно выделить функциональные, пространственные, информационные, алгоритмические, блочные, логические и схемные структуры телемеханических систем и устройств. С точки зрения основных компонент или звеньев ТСС (основных операций) выделяют структуры кодирования и декодирования, разделения сигналов, линейных цепей, линий связи и т. д. Может быть предложена комбинированная классификация структур ТСС (рис. 3). Совокупность принятых в этой классификации признаков и ее ветвящаяся структура дают возможность разложения общей задачи проектирования структуры ТСС на ряд частных задач.

Дадим краткие пояснения к этой классификации.

Чтобы осуществить передачу телемеханического сообщения от источника информации к приемнику, необходимо прежде всего преобразовать его в форму, удобную для передачи, передать по линии (каналу) связи и осуществить обратное преобразование для использования сообщения приемником. Цепочку схем и линий связи, осуществляющих эти операции, можно назвать телемеханической цепью. Простейшие ТСС между одним источником и одним приемником представляют собой телемеханические цепи.

В ТСС со многими объектами и пунктами управления, после того как телемеханическое сообщение или, точнее, его информационная составляющая преобразована в сигнал и обеспечена его дальнейшая передача по телемеханической цепи, необходимо передать это сообщение по заданному адресу и в нужное время. Эти операции осуществляются прежде всего совокупностью схем и линий (каналов) связи, которые назовем телемеханической сетью.

В случае необходимости организации сложных связей ТСС с объектами и ПУ, на которых производится обработка информации, образуются телемеханические информационно-управляющие

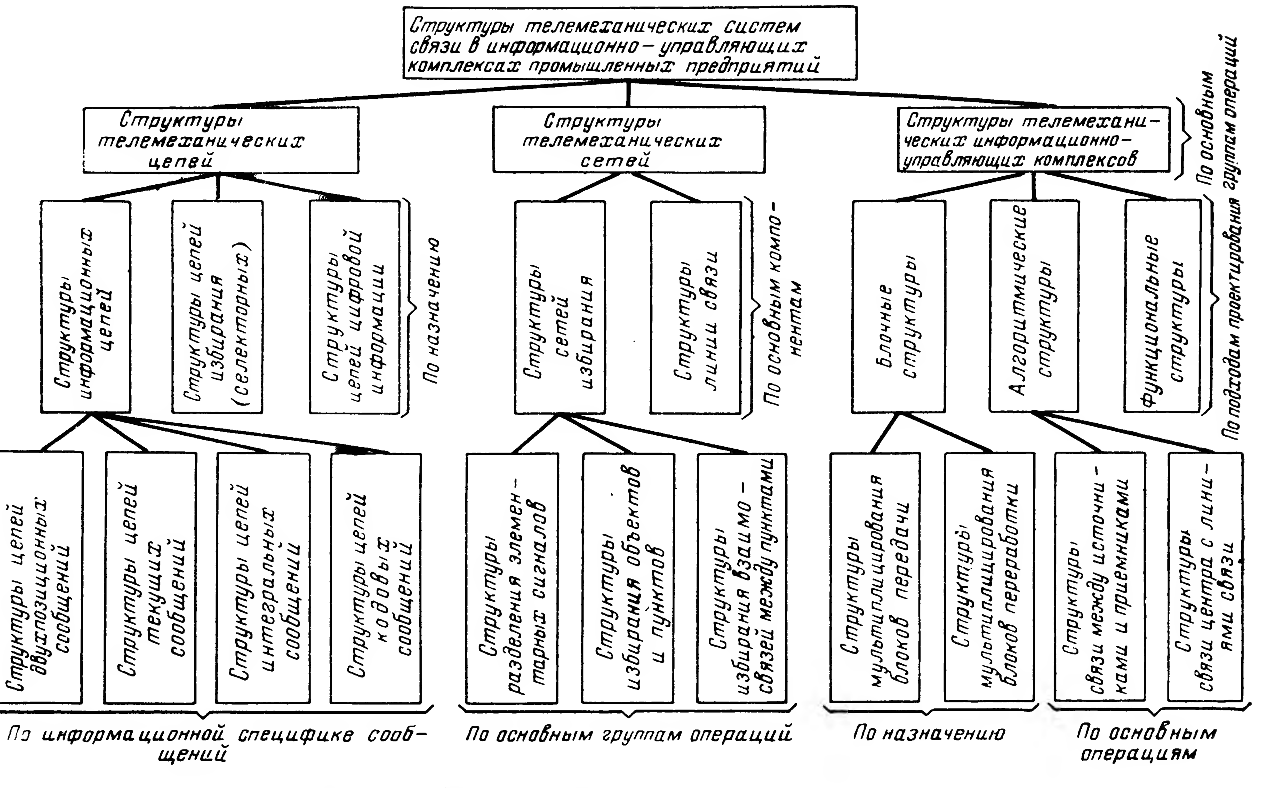


Рис. 3. Комбинированная классификация структур телемеханических систем связи.

комплексы. Образование телемеханических информационно-управляющих комплексов АСУ предприятиями обусловливается тесной взаимосвязью выполняемых системой функций, разветвленностью передаваемых потоков информации, смешанным размещением объектов, необходимостью единства функционирования всего комплекса и стремлением наиболее эффективно использовать технические средства.

Уточним теперь некоторые понятия, касающиеся классификации структур телемеханических цепей, сетей и информационно-управляющих комплексов.

Среди телемеханических цепей выделяются цепи, которые служат для передачи информационной составляющей сообщения, т. е. значения передаваемого параметра, и цепи, необходимые для передачи селекторной или адресной составляющей, т. е. кода адреса объекта или пункта и вида сообщения. Особенности цепей двухпозиционных, текущих, интегральных и кодовых сообщений определяются особенностями соответствующих сообщений, рассмотренных в § 2.

Цепи для цифровой информации обычно служат для передачи больших объемов информации технико-экономического или статистического характера, что требует их выделения в отдельную подгруппу. Можно также классифицировать телемеханические цепи по виду передаваемого сигнала, основным операциям и т. д. Среди телемеханических цепей передачи различных сигналов выделяются цепи передачи аналоговых, частотных и импульсных сигналов. Наиболее специфическими с точки зрения выполняемых операций являются линейные цепи, структуры которых подробно рассмотрены в [Л. 9, 12].

Структуры телемеханических сетей образуются способами разделения сигналов и избирания объектов и пунктов, взаимосвязями между пунктами, а также структурами линий (каналов) связи. Анализ известных принципов разделения сигналов показывает, что среди них четко различаются три характерные группы: основные (или первичные), комбинационные и производные (рис. 4). Первичные принципы разделения создают основу для передачи нескольких сигналов по каналу связи. Кроме широко известных временнóго и частотного разделения, сейчас начинают разрабатывать устройства разделения по форме. При разделении сигналов по форме каждый сигнал отличается индивидуальной формой, например последовательностью единиц и нулей, а на приемном пункте принимается решение о наличии в серии принятых сигналов сигнала заданной формы. Принцип разделения сигналов по форме может найти применение в системах с ВМ.

Комбинационные методы отличаются применением комбинирования временны́х, частотных сигналов или сигналов, отличающихся по форме. При использовании нескольких параллельных линий или каналов связи можно получить значительное количество производных методов разделения сигналов [Л. 13]. В случае передачи в каждом из используемых каналов связи по одному элементарному сигналу без комбинирования образуется разделительный (простой качественный, схемный или кондуктивный) принцип, при котором в сущности собственно разделения нет. В условиях ПП обычно применяют комбинирование проводов, комбинирование частот в отдельных проводах, временное разделение с помощью синхронно-синфазных дешифраторов, управляемых по многопроводной схеме, и другие способы комбинирования.

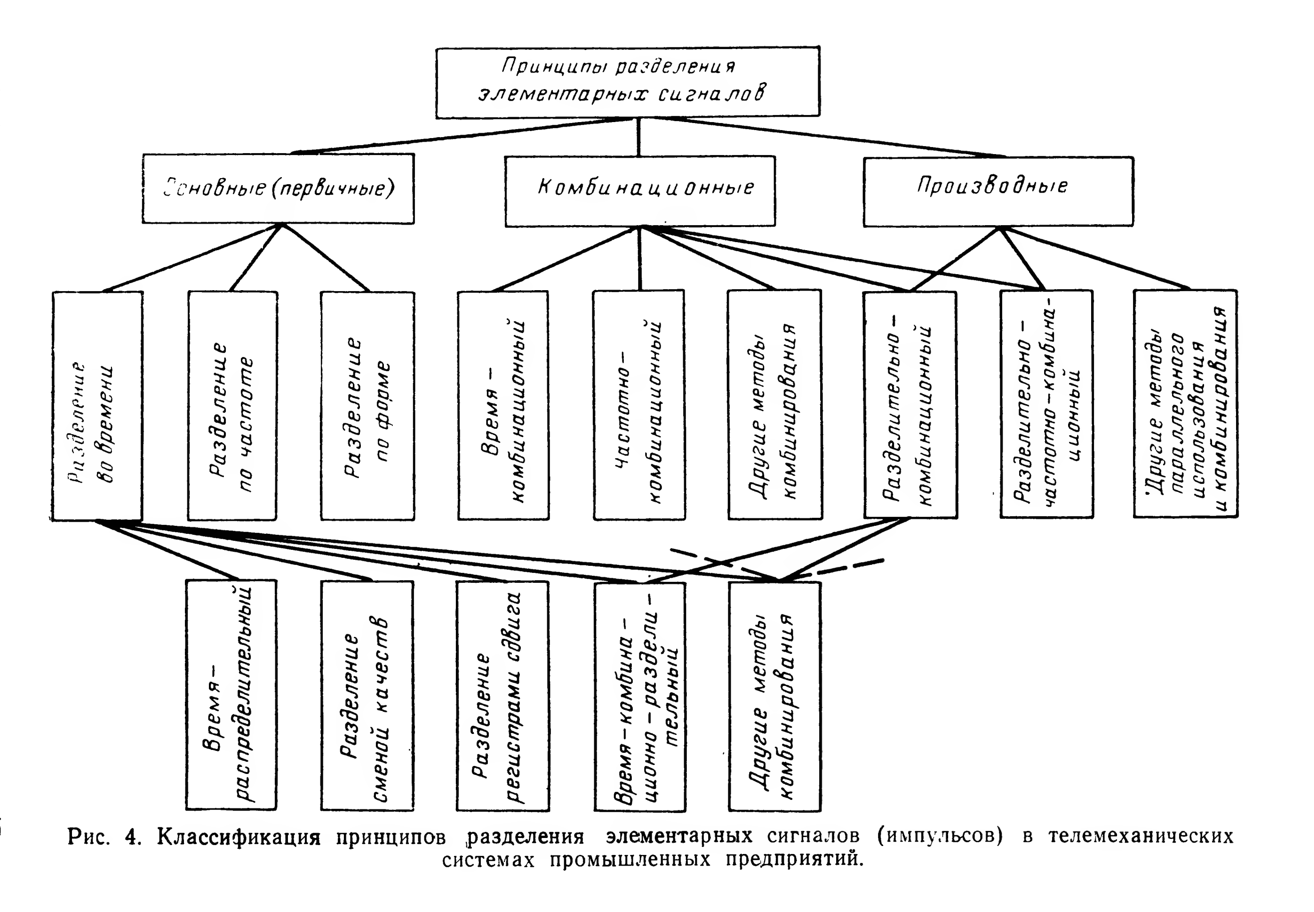


Рис. 4. Классификация принципов разделения элементарных сигналов (импульсов) в телемеханических системах промышленных предприятий.

Стремление наиболее эффективно использовать предоставляемые линии (каналы) связи и телемеханическую аппаратуру в случае необходимости избирания множества КП, связанных с ПУ, приводит к организации комбинированной телемеханической сети, в которой все телемеханические пункты подключены к общей линии (каналу) связи. В этом случае к устройствам, образующим телемеханическую

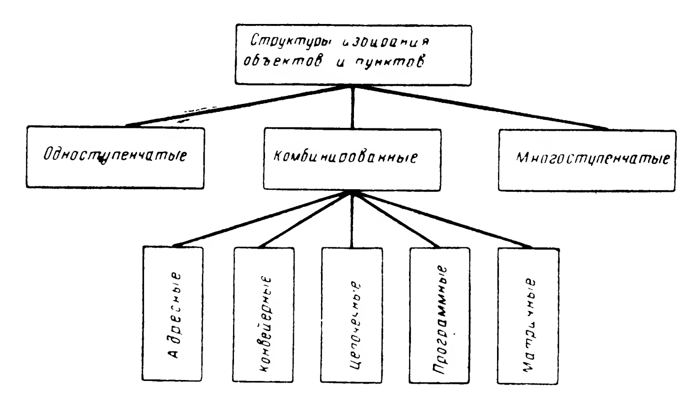


Рис. 5. Классификация структур избирания рассредоточенных объектов и пунктов.

сеть, добавляются устройства избирания (селекции) телемеханических пунктов. В зависимости от принципа подключения КП к общей линии связи можно выделить адресные, конвейерные, цепочечные, матричные и программные структуры избирания КП (рис. 5).

Наконец, более сложные телемеханические сети образуются в системах управления со сложной иерархической структурой управления и сложными взаимосвязями при условии введения избыточности в сеть. Среди структур линий связи ПП можно выделить радиальные, цепочечные, кольцевые, древовидные и сложные [Л. 9, 37, 40].

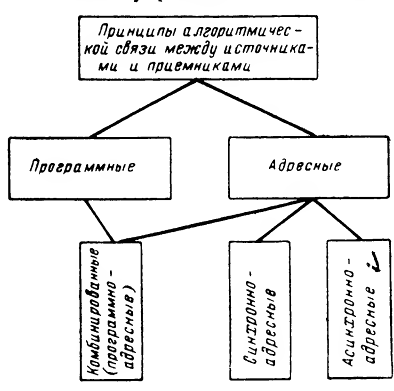


Рис. 6. Классификация принципов алгоритмической связи между источниками и приемниками в телемеханических системах.

Перейдем теперь к уточнению основных понятий, касающихся структур телемеханических информационно-управляющих комплексов (рис. 3 и 6). Размещение заданных функций по ступеням схемной иерархии будем относить к функциональному построению и соответствующие структуры назовем функциональными. В условиях ПП обычно применяют одно-, двух- и трехступенчатые структуры.

К алгоритмическому построению отнесем способы установления информационных связей телемеханических систем с датчиками, исполнительными механизмами, ВМ и оборудованием диспетчерских пунктов. Известны два основных алгоритма установления информационных связей между источниками и приемниками информации: адресный, который также называют информационным, или асинхронным, и программный, или синхронный [Л. 2, 39].

При адресном (информационном) алгоритме последовательность работы блоков определяется моментами окончания обработки информации в каждом блоке. Под программным алгоритмом связи понимается заранее предусмотренная последовательность моментов установления связи между блоками, осуществляемая устройством управления.

Соответственно этим двум алгоритмам можно различать также два принципа алгоритмического построения телемеханических систем: программный, или многоканальный, и адресный.

При программной, или многоканальной, передаче связь с каждым объектом или пунктом осуществляется по инициативе приемника в момент опроса соответствующего объекта, а адрес объекта содержится в позиции ячейки памяти, контакта реле и т. п., которые опрашиваются. Частным случаем программной передачи является обычная циклическая передача.

Адресная передача отличается тем, что управление передачей осуществляется с передающего пункта, а адрес объекта отображается соответствующим кодом.

Асинхронно-адресными названы системы, в которых при адресной передаче общий канал связи или аппаратура используются многими объектами без синхронизации работы всей системы. Так как передача кодов адресов различных объектов не синхронизирована, эти коды могут накладываться во времени друг на друга [Л. 53]. Принципы алгоритмического построения ТСС рассматриваются в § 18.

Блочное построение обычно сводится к многократному использованию наиболее сложных блоков с целью повышения пропускной способности, надежности и экономичности. Следует отметить, что четкое выделение блочных, алгоритмических и функциональных структур во многих случаях затруднено или невозможно и является условным. Примеры блочного, алгоритмического и функционального построения ТСС приведены в последней главе.

Из приведенных классификаций следует, что структуры ТСС являются многогранными. Таким образом, для полной характеристики структуры ТСС в общем случае необходимо указать следующие ее стороны: ступенчатость, алгоритм связи, блочное построение, структуры линий связи, способы избирания взаимосвязей между пунктами, избирания пунктов (КП) и разделения сигналов, структуры информационных и селекторных цепей (включая характеристику кода). Во многих случаях такой полной характеристики не требуется, например, при простых взаимосвязях один КП — один ПУ, отсутствии уплотнения передачи (разделения сигналов) и т. д.

Качественный анализ структур ТСС создает предпосылки для разложения конкретной задачи проектирования на ряд частных задач. Для оценки вариантов решения частных задач, комбинирования выбранных вариантов с целью принятия решения по структуре всей ТСС необходимы, кроме исходных данных и возможных вариантов, критерии оценки и применение математических методов.

8. Подходы проектирования

Системное проектирование. Одной из важнейших задач системного проектирования является определение целесообразности применения того или иного варианта ТСС в целом, иначе говоря, ее эффективности. Эффективность управляющих систем можно рассматривать с нескольких точек зрения. К первому виду эффективности отнесем эффективность применения управляющей системы на конкретном заводе [Л. 31]. Второй вид эффективности будем связывать с собственной эффективностью системы, т. е. с информационными возможностями системы и ценой достижения этих возможностей [Л. 2, 9, 13]. Обратным этому критерию является критерий удельных затрат. Можно, наконец, говорить об эффективности выпуска новой информационно-управляющей техники и т. д.

Эффективность внедрения управляющей системы может быть определена через срок окупаемости $T_{ок}$:

$$T_{ок} = \frac{W_у}{F_у},$$

где $W_у$ — общая стоимость системы управления; $F_у$ — доход от внедрения системы управления.

При оценке срока окупаемости необходимо учитывать фактор времени и разновременные экономические расходы (доходы) приводить к одному моменту времени при помощи известной функции выгод (формулы сложных процентов).

Применение телемеханической передачи может приводить либо к увеличению дохода (эффекта), либо к уменьшению стоимости системы. Обычно необходимость в телемеханической передаче на ПП может возникнуть: для связи с подвижными объектами, при значительных моментах информации [Л. 4] (это понятие рассматривается ниже), в некоторых специфических случаях (если невозможно или трудно проложить дополнительные кабели, при высоком уровне помех и т. д.).

Рассмотрим вначале случаи, когда телемеханическая передача приводит к увеличению дохода. Комплексным источником эффективности является уменьшение неупорядоченности производства за счет ускорения движения информации о ходе производственного процесса и ее использования для управления. Неупорядоченность управляемого комплекса определяется как мера отклонения его состояния от идеального, обеспечивающего предельно возможное достижение цели. Часто эту составляющую эффективности, получаемую условной реализацией выбранных функций без учета затрат на создание и эксплуатацию системы и потерь от неидеальности функционирования самой управляющей системы (ненадежности, неточности и задержек), называют идеальной эффективностью управления [Л. 35]. Очевидно, что телемеханическая передача информации часто имеет существенный вес в обеспечении движения информации для упорядочения производства, особенно при связи с подвижными объектами, и на нее, естественно, приходится определенная часть идеальной эффективности.

Очень важным дополнительным источником эффективности на этапе реализации рассредоточенной управляющей системы являются удешевление капитальных вложений с учетом применения телемеха-

ники и улучшение условий эксплуатации (при вредных окружающих условиях и т. д.). Возможность снижения капитальных затрат за счет применения телемеханики возникает в следующих случаях: при централизации управления рассредоточенными взаимосвязанными объектами, для реализации индивидуальных удаленных взаимосвязей небольшой емкости, если оказывается целесообразным мультиплексирование реализации функций, т. е. централизованная реализация функций по обработке информации при слабых взаимосвязях объектов, для объектов, управление которыми возможно только на некотором расстоянии (при загазованности, высокой температуре и т. д.).

Кроме указанного, на этапе эксплуатации за счет применения телемеханики возможно снижение потерь из-за искажений и потерь информации вследствие ненадежности и неточности.

Наконец, при проектировании новых объектов оказывается возможным применять высокопроизводительные процессы и агрегаты, которые не могут действовать без автоматизированного управления с применением телемеханики.

Критерии оценки собственной эффективности ТСС позволяют оценить качество выполнения системой заданных функций независимо от эффективности конкретной системы управления, в которую входит ТСС. Для оценки собственной эффективности телемеханических систем используются различные модификации критерия удельной скорости передачи информации [Л. 2, 9, 10, 13, 32]. Однако в условиях ПП применение этого критерия ограничено. Так, например, при сравнении двух телемеханических систем, емкости и аппаратурные затраты которых равны, но расстояния передачи и, следовательно, затраты на линии связи различны, требуется учитывать и различие расстояний передачи. Учесть расстояния передачи при оценке ТСС можно путем введения понятия момента информации [Л. 4]. Момент информации M выражается так:

$$M=IL \; [\textit{бит} \cdot \textit{км}],$$

где I — информационная емкость системы или максимальное количество передаваемой информации, *бит*; L — расстояние передачи по кратчайшему пути, *км*.

Момент информации M за некоторое время T можно назвать информационной мощностью системы

$$G=M/T \; [\textit{бит} \cdot \textit{км/сек}].$$

Известно, что идеальная эффективность или функции системы связаны с объемом используемой информации определенной зависимостью [Л. 31]. Эффективность же реализации зависит от затрат на аппаратуру и каналы связи и потерь от неидеальности функционирования. Если обозначить суммарные затраты и потери через W_c, то коэффициент собственной эффективности $\eta_{cб}$ тогда можно выразить так:

$$\eta_{cб}=G/W_c.$$

В общем случае в качестве величин M и W_c следует принимать их математические ожидания за некоторое время. При этом должны учитываться ограничения по точности, достоверности, быстродействию, надежности и другим характеристикам. Этот критерий, однако, также не отвечает всем основным требованиям, предъявляемым к критерию оценки эффективности на этапе проектирования ТСС.

Такой критерий должен: учитывать все основные показатели ТСС, от которых зависит ее эффективность; позволять давать однозначную оценку ТСС, т. е. ее полная оценка должна выражаться только одним числом; давать возможность проводить инженерный анализ и синтез системы для конкретных задач. Принципиально этим требованиям отвечает рассмотренный выше критерий срока окупаемости. Однако при проектировании весьма трудно или даже невозможно установить связь срока окупаемости с основными характеристиками ТСС. К тому же чаще всего имеющая место значительная неопределенность исходных данных не может, естественно, дать высокой точности оценки системы даже при достаточно полной математической модели этой системы.

В последнее время при оценке управляющих машин, систем связи и телемеханики применяют критерии, в которых вместо абсолютных значений эффективности используются функции относительных величин, выражающих «коэффициенты успеха» по основным (базовым) характеристикам системы и «весовые коэффициенты» этих характеристик [Л. 33, 54]. При этом принимаем идеальную эффективность ТСС равной единице. Реальная же эффективность ТСС снижается из-за трех основных причин: 1) неполной реализации требуемых функций; 2) неидеальности функционирования (неточности, ненадежности, задержек и т. д.); 3) затрат на реализацию. Невозможность полной реализации заданных функций (принимая функционирование системы идеальным) может возникнуть, если ТСС не сопрягается с определенными видами датчиков, исполнительных механизмов или ВМ, емкость системы недостаточна или передача на заданное расстояние невозможна. Степень полноты выполнения системой требуемых функций с учетом веса i-й функции будем оценивать коэффициентом $\alpha_i (i=1, 2, \ldots, L_ф)$. Относительная величина коэффициентов α_i выбирается либо исходя из доли дохода, связанной с выполнением i-й функции полностью или частично, либо на основе экспертных оценок путем опроса специалистов. При этом необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\sum_{i=1}^{L_ф} \alpha_i = 1.$$

Качество функционирования ТСС определяется точностью, достоверностью, быстродействием и надежностью. Так как для каждого из сравниваемых вариантов ТСС эти характеристики различны, относительный «коэффициент проигрыша» [Л. 55] по каждой j-й характеристике может быть выражен отношением

$$\beta_j^{(p)} = \frac{B_{j\,мин}^{(p)} - B_j^{(p)}}{B_j^{(p)}}$$

для характеристик, имеющих нижнюю границу (вероятность ошибки, средняя величина задержки и т. д.), или отношением

$$\beta_j^{(p)} = \frac{B_j^{(p)} - B_{j\,макс}^{(p)}}{B_{j\,макс}^{(p)}}$$

для характеристик, имеющих верхнюю границу (вероятность безотказной работы, пропускная способность и т. д.).

Здесь $B_j^{(p)}$, $B_{j\,\text{мин}}^{(p)}$ и $B_{j\,\text{макс}}^{(p)}$ — полученное и наилучшее (минимальное или максимальное) значение j-й характеристики p-го варианта. Очевидно, что $-1<\beta_j\leqslant 0$, причем наихудшему значению j-й характеристики соответствует большее абсолютное числовое значение $|\beta_j|$. Кроме того, величина β_j всегда отрицательна.

В зависимости от конкретных условий j-ю характеристику можно охарактеризовать некоторым весовым коэффициентом (весом) $\gamma_j^{(p)}(0\leqslant\gamma_j^{(p)}\leqslant 1,\ j=1,2,\ldots,M_B)$. Величина γ_j может выбираться в зависимости от приходящейся на j-ю характеристику доли снижения идеальной эффективности или на основе опроса специалистов.

Аналогичные коэффициенты $\beta_q^{(p)}$ и $\gamma_q^{(p)}$ принимаются также и для характеристик системы по затратам на каналы связи, аппаратуру передачи и аппаратуру сопряжения $(0\leqslant\gamma_q^{(p)}\leqslant 1,\ q=1,2,\ldots,N_k)$. Выбор этих коэффициентов аналогичен выбору $\gamma_j^{(p)}$, причем

$$\sum_{i=1}^{L_\text{ф}}\sum_{j=1}^{M_B}\gamma_{ij}^{(p)}+\sum_{q=1}^{N_k}\gamma_q^{(p)}=1.$$

Тогда качество p-го варианта ТСС можно охарактеризовать коэффициентом относительной эффективности $\eta_\text{отн}$, который выразится следующим образом:

$$\eta_\text{отн}=\sum_{i=1}^{L_\text{ф}}\alpha_i+\sum_{i=1}^{L_\text{ф}}\sum_{j=1}^{M_B}\beta_{ij}\gamma_{ij}+\sum_{q=1}^{N_k}\beta_q\gamma_q;$$

$$0<\eta_\text{отн}\leqslant 1.$$

Оценка относительной эффективности ТСС дает возможность учесть все интересующие параметры с возможной точностью и выразить такую комплексную оценку одним числом. Расчет относительной эффективности сравнительно несложен и принципиально позволяет провести оптимизацию системы.

Изложенный материал по оценке относительной эффективности ТСС носит несколько эвристический характер. Можно утверждать, однако, что он другим и не может быть, так как определенный произвол при оценке конкретной системы неизбежен. Изложенный подход проще, чем построение математической модели системы, связывающей срок окупаемости системы с основными ее характеристиками. Следует отметить, что применение критерия оценки относительной эффективности системы возможно, если уже выбраны функции и объемы информации системы. Такое положение как раз характерно при проектировании ТСС в АСУ.

Для оценки $\eta_\text{отн}$ нужно, прежде всего, выбрать частные критерии, характеризующие отдельные стороны ТСС, и оценить по этим критериям имеющиеся варианты или синтезировать оптимальный по частному критерию вариант.

Функциональное проектирование. После выбора функций, объемов информации, формулирования требований к схемам и системных критериев оценки можно перейти к задаче размещения этих

функций и объемов информации по ступеням системы [Л. 32]. Проектирование ТСС начинается с функционального проектирования системы. Так как задачи функционального проектирования ТСС сейчас только начинают решаться, математическую формулировку их здесь приводить не будем, а ограничимся общей характеристикой.

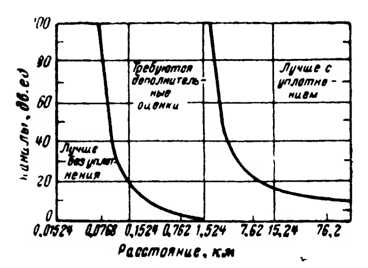


Рис. 7. Области целесообразности применения уплотнения при временном разделении сигналов.

Рассмотрим постановку одной из задач функционального проектирования ТСС без учета ненадежности системы. Пусть заданы: 1) точки, в которых расположены объекты; 2) объемы информации для каждой точки; 3) точки, в которых возможно размещение КП; 4) матрица стоимости реализации дистанционных связей объект — КП; 5) функция суммарной себестоимости преобразования информации в зависимости от емкости для каждого КП; 6) точки, в которых возможно размещение ПУ; 7) матрица стоимости телемеханической реализации связей КП—ПУ; 8) функция себестоимости преобразования и переработки информации на ПУ в зависимости от его емкости. Требуется определить: 1) оптимальное по затратам прикрепление объектов к КП; 2) емкости КП, включая целесообразность их установки; 3) размещение ПУ и соотношение емкостей дистанционных и телемеханических связей ПУ с объектами и КП. Кроме требования минимизации суммарных затрат на каналы связи и телемеханическую аппаратуру, в рассмотренной задаче существует также ряд известных ограничений (по дальности передачи, емкости пунктов, числу возможных связей ПУ с КП и т. д.). Эта задача может рассматриваться как специфическая разновидность известных задач размещения. Частные случаи решения такой задачи без учета стоимости реализации телемеханических связей КП—ПУ приведены в [Л. 36]. В некоторых случаях при ряде упрощений можно воспользоваться заранее вычисленными графиками целесообразных границ применения уплотнения [Л. 56] или целесообразного применения различных структур телемеханики [Л. 57]. Один из вариантов таких графиков приведен на рис. 7. Однако наиболее точные решения с учетом особенностей конкретных условий можно будет получать, когда будут разработаны алгоритмические методы решения рассматриваемых задач на ВМ.

Надежность различных вариантов функционального построения ТСС с точки зрения способности выполнения системой заданных функций можно оценить с помощью критериев эффективности функционирования или средних потерь [Л. 2, 48]. Эффективность функционирования определяется математическим ожиданием основного выходного эффекта, обусловленного применением системы за некоторое время, а средние потери — математическим ожиданием части выходного эффекта, который теряется за расчетное время из-за ненадежности системы. Критерии эффективности и средних потерь связаны соотношением

$$F_{с}+W_{п}=F_{0},$$

где F_0 — идеальное значение эффективности за некоторое время.

В системах промышленной телемеханики выходной эффект или потери за некоторое время можно считать зависящими лишь от состояния системы, определяемого комбинацией ее исправных и неисправных блоков. В этом случае эффективность системы определяется взвешенной суммой эффектов по всем возможным состояниям системы

$$F'_c = \sum_{i=0}^{s} P_i F_i,$$

а средние потери определяются взвешенной суммой потерь

$$W_п = F_0 - \sum_{i=0}^{s} P_i F_i = \sum_{i=0}^{s} P_i W_i;$$

здесь P_i — вероятность i-го состояния системы; s — число таких состояний.

Особенности определения F_c для телемеханических сетей связи рассмотрены в § 9.

Пространственное проектирование. В процессе проектирования размещения телемеханических пунктов, а также центров обслуживания в других системах может возникнуть следующая задача. Пусть на плоскости задано множество пунктов A_1, A_2, A_3, ..., A_k с координатами каждого пункта (x_i, y_i).

Требуется найти координаты (x_c, y_c) центра A_c, для которых выполняется условие

$$\sum_{i=1}^{k} w_i l_i = \sum_{i=1}^{k} w_i \sqrt{(x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2} = \text{мин}.$$

где w_i — вес единицы длины радиальной связи i-го пункта с центром A_c.

Эта задача известна как частная задача Штейнера. Предпринималось ряд попыток упростить процесс ее решения с целью создания возможности широкого использования упрощенных способов в практике проектирования. Укажем кратко на некоторые инженерные методы решения рассматриваемой задачи. В случае $k=3$ и $w_1 = w_2 = w_3$ искомый центр является точкой Торричелли треугольника $A_1A_2A_3$ и находится с помощью геометрических построений по известному правилу. Если в качестве целевой функции принять

$$W = \sum_{i=1}^{k} w_i l_i^2,$$

то оптимальные для этой целевой функции координаты центра $A_c(x_c, y_c)$ легко могут быть найдены по формулам, с помощью которых определяют центр тяжести механических систем [Л. 58]. Показано также [Л. 59], что оптимальное в рассматриваемом смысле размещение центра A_c совпадает с положением равновесия механической системы, в которой центр A_c притягивается к каждому из пунктов A_i с силой, пропорциональной w_i, т. е. весу пункта. В положении равновесия сумма векторов, пропорциональных весам

пунктов A_i и направленных от A_c к A_i, равна нулю. Из этого следует, что в случаях, когда «вес» одного из пунктов больше суммы «весов» остальных пунктов, оптимальным будет размещение центра в пункте с наибольшим «весом». Основываясь на описанной механической модели (ее можно также назвать векторной), оптимальное размещение центра в общем случае может быть найдено графическим способом. При этом направление поиска определяется направлением вектора векторной суммы, а шаг поиска может быть связан с величиной этого вектора.

В конкретных случаях применяются более простые способы выбора местоположения ПУ [Л. 102], которые учитывают совокупность существующих условий и требований и сводятся к выбору наилучшего из нескольких возможных вариантов.

Более характерной для ПП является другая задача построения оптимальной сети, частным случаем которой является задача построения кратчайшей по сумме длин сети. Известна выгодность объединения нескольких мелких линий связи в одну, особенно в случае уплотнения этих линий. Тогда при сложных взаимосвязях между пунктами можно поставить задачу выбора таких маршрутов передачи информации, чтобы суммарная стоимость каналов связи с учетом многократности использования отдельных участков сети для различных маршрутов была минимальной. Эта задача проектирования сети сводится к получению на полном графе дерева с минимальным весом.

Наконец, во многих случаях ставится задача при заданных координатах пунктов и надежности звеньев сети спроектировать оптимальную по надежности сеть.

Информационное проектирование. Задачами информационного проектирования являются количественная оценка передаваемой информации, определение предельных информационных возможностей систем телемеханики и каналов связи, экономичное и надежное представление передаваемой информации в схемах.

Развиваются несколько направлений информационного проектирования: статистическое, комбинаторное и семантическое, или смысловое [Л. 60]. Статистическое направление позволяет дать количественную оценку собственно информации, комбинаторное направление связано прежде всего с представлением сообщений в схемах и, наконец, семантическое направление касается таких вопросов, как надежность передачи информации. Наибольшее значение для рассматриваемых условий могут иметь два направления: комбинаторное и семантическое.

Рассмотрим вначале комбинаторное направление. Необходимость квантования величин X, функций времени $X(T)$ и функций пространства $X(N)$ приводит к трехмерной модели дискретного объема (полного комплекса) информации с общим количеством квантов

$$C = m_X m_T m_N;$$

здесь

$$m_X = X/\Delta X;\ m_T = T/\Delta T;\ m_N = N/\Delta N,$$

где X, T и N — реализуемые диапазоны параметра, времени и пространства; ΔX, ΔT и ΔN — интервалы квантования.

Часто используется только одна составляющая полного комплекса информации. Например, ТИИ интегрально-импульсным методом [Л. 61] требуют квантования сообщений только по величине X, сле-

жение за состоянием объектов двухпозиционного контроля связано с квантованием только функции времени $X(T)$, а контроль местоположения подвижных многопозиционных объектов (например, железнодорожных составов определенного номера) приводит к квантованию по функции пространства $X(N)$.

В случае кодового представления сообщения в системе счисления с основанием m и разрядностью n число C экспоненциально зависит от n:

$$C=m^n.$$

Эту информацию можно передавать или хранить с помощью информационной емкости, образуемой n ячейками, каждая из которых имеет m состояний. Естественно, что информационная емкость $2n$ ячеек в 2 раза больше, $3n$ ячеек — в 3 раза больше, чем в одной ячейке, и т. д. Этому условию аддитивности удовлетворяет логарифмическая мера информационной емкости или количества информации, которым могут быть заполнены рассматриваемые ячейки:

$$I=\log C=n\log m.$$

Наиболее удобно выбрать двоичные ячейки и двоичный логарифм для оценки информационной емкости схем.

Тогда

$$I=n\ [бит].$$

Рассматривая действие двоичной схемы длины n во времени за s тактов, можно информационную емкость такой схемы за это время выразить как

$$V_{сх}=nsk\ [бит],$$

где $V_{сх}$ — информационный объем схемы; $k\leqslant 1$ — коэффициент, учитывающий неинформационные состояния схемы из-за ненадежности, служебных связей и т. д.

Показатели информационной емкости (информационного объема) необходимы для оценки эффективности методов передачи и соответствующих структур по критерию удельной скорости передачи [Л. 9] или критерию информационной мощности, рассмотренному в § 8.

Важнейшее значение при информационном проектировании имеет кодирование. В рассматриваемых условиях выбранный код, т. е. система сигналов, соответствующих набору сообщений, определяет достоверность передачи, затраты аппаратуры, а часто и количество требуемых линий связи. При этом на эффективность принимаемых решений влияют все структурные характеристики кода: правило сопоставления сообщений кодовым комбинациям, основание кода, способ комбинирования и разрядность (длина) [Л. 2].

В семантической теории информации учитывается качество информации: ее вес, ценность, эффект. Ценность информации можно, в частности, связать с надежностью передачи этой информации. В случае передачи дискретной информации для обеспечения максимума качества работы цепи передачи информации нужно минимизировать средний риск или средние потери

$$W_{п.ц}=\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{s}p(x_i)\,W_{ij}q(x_i\rightarrow x_j),$$

где $p(x_i)$ — априорная вероятность передачи сообщения x_i; $q(x_i \longrightarrow x_j)$ — вероятность приема сообщения x_j, когда было передано x_i; W_{ij} — численное значение веса трансформации $x_i \longrightarrow x_j$; s — число передаваемых сообщений.

Критерий средних потерь широко используется при проектировании. Наиболее часто при информационном проектировании используются критерии вероятности пропуска сигнала, ложного сигнала, вероятности ошибки и др.

Алгоритмическое проектирование. При этом подходе анализируются потоки информации, разрабатываются критерии оценки динамики передачи этих потоков, производится типизация принципов передачи с точки зрения организации процесса передачи и применяются аналитические методы либо методы моделирования для анализа и расчета.

В качестве характеристик эффективности алгоритмического построения многих ТСС в зависимости от их назначения используют различные критерии, в том числе среднее время ожидания, длина очереди, вероятность потери сообщения и т. д. Приведем наиболее важные при алгоритмическом проектировании ТСС формулы, справедливые для простейших потоков, рассматриваемых в теории массового обслуживания [Л. 2]. Если в единицу времени в среднем поступает λ_T требований, каждое из которых обслуживается в течение времени T, то среднее время занятости линии связи равно $\rho = \lambda_T T$. Для стационарного потока величина ρ равна вероятности того, что в произвольный момент времени линия окажется занятой. Среднее время ожидания определяется следующей простой формулой:

$$\bar{t}_{\text{ож}} = \frac{\rho T}{2(1-\rho)}.$$

Вероятность того, что время ожидания будет больше kT, где k — любое целое положительное число, при $\rho \ll 1$ равна:

$$P(t_{\text{ож}} > t) \approx \frac{\rho^{k+1}}{(k+1)!}.$$

Блочное проектирование. Одна задача блочного проектирования заключается в том, чтобы создать такой набор функционально и конструктивно законченных устройств (блоков), который допускал бы, во-первых, произвольное сочетание устройств в системе без каких-либо доработок в самих устройствах и, во-вторых, позволял бы образовывать системы, реализующие любой из алгоритмов достаточно широкого класса для контроля и управления производством при минимальной избыточности оборудования.

Задачи блочного проектирования сводятся к выбору таких схемных связей между блоками, чтобы пропускная способность схемы, структурная надежность и другие параметры структуры либо были максимальными, либо требовали минимума затрат аппаратуры или каналов. Эта цель обычно достигается путем многократного использования общих блоков, варьированием между схемами параллельной и последовательной передачи и т. д.

Критериями структурной надежности, т. е. надежности, обусловленной выбранными схемными взаимосвязями между блоками, без учета выполняемых функций, могут быть «живучесть» или «неживу-

честь», связность или несвязность [Л. 42, 48, 66]. Наиболее систематическими критериями надежности собственно структур являются вероятности связности или несвязности. Связным называется граф, любые вершины которого связаны цепью. Если каждое ребро обрывается с вероятностью $q=1-p$, вероятность связности R может быть записана в виде [Л. 42]

$$R=\sum_{k=l}^{m} A_k p^k q^{l-k},$$

или

$$R=1-\sum_{i=w}^{m} B_i q^i p^{w-i},$$

где m — число ребер; n — число вершин графа; A_k — число связных подграфов графа, имеющих k ребер и n вершин; B_i — число несвязных подграфов с $m-i$ ребрами и n вершинами; l — минимальное число ребер, необходимое для того, чтобы построить связный граф с вершинами; w — минимальное число ребер, которое надо удалить, чтобы граф стал несвязным ($q=1-p$).

Критерий связности (несвязности) необходим для определения средних потерь, средней информационной емкости, а также имеет самостоятельное значение.

Логическое проектирование. Этот подход проектирования, наряду с информационным, является наиболее разработанным. Упрощенно процесс логического проектирования сводится к аналитической записи условий работы схемы, преобразованию логических выражений в желаемом направлении и начертанию после этого соответствующих логических схем. При этом чаще всего ставится задача минимизировать число элементов. Иногда логическая схема оценивается по надежности, например вероятности ложного срабатывания и несрабатывания [Л. 67].

Основой логического проектирования является теория релейных устройств и цифровых автоматов. В этой теории рассматриваются вопросы логического синтеза двух основных классов схем — комбинационных и последовательностных. Наиболее характерными для телемеханики являются комбинационные схемы — шифраторы и дешифраторы, многие преобразователи кодов. В § 13 приведен пример логического синтеза некоторых преобразователей кодов.

Схемное проектирование. Основой проектирования электрических схем телемеханики являются теория электрических цепей и теория надежности схем. Значительное место среди ТСС занимают схемы с распределенными параметрами, к которым относятся линейные цепи. Определенной спецификой обладают элементы временных и частотных телемеханических систем.

Телемеханические схемы оцениваются по быстродействию, полосе частот, нагрузочной способности, интенсивности отказов, безопасности действия и т. д. Подробное изложение вопросов схемного проектирования устройств телемеханики с временным и частотным разделением импульсов содержится в многочисленных работах.

Надежностное проектирование. Этот подход проектирования осуществляется при всех вышеуказанных подходах. В частности, в сочетании с другими подходами необходимо определить требуемые уровни надежности, а также способы введения избыточности, вопро-

сы диагностики и т. д. Наиболее важными критериями надежности являются вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, наработка на отказ и коэффициент готовности.

Если за основу принять экспоненциальный закон распределения отказов, то для периода нормальной эксплуатации при среднем числе отказов в единицу времени λ вероятность безотказной работы $P(t)$ для произвольного отрезка времени будет равна:

$$P(t) = e^{-\lambda t}.$$

Если в системе содержится n_1 элементов с параметром потока отказов λ_1, n_2 с λ_2 и т. д., то вероятность ее безотказной работы будет определяться формулой

$$P_c(t) = e^{-(n_1\lambda_1 + n_2\lambda_2 + \ldots n_n\lambda_n)\,t}.$$

Для оценки надежности непрерывно работающих систем, к которым относятся ТСС, более удобно пользоваться средним временем безотказной работы — наработкой на отказ T. Наработка на отказ и вероятность безотказной работы связаны следующей зависимостью:

$$T = \int\limits_0^\infty P_c(t)\,dt.$$

При постоянной величине λ

$$T = \int\limits_0^\infty e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}.$$

Так как продолжительность простоя при отказе зависит от свойств аппаратуры (сложности, ремонтопригодности и т. п.), от условий эксплуатации, количества и квалификации обслуживающего персонала, надежность аппаратуры оценивают также по коэффициенту готовности

$$K_г = \frac{T}{T + T_в},$$

где $T_в$ — среднее время восстановления.

Интересно отметить своеобразную взаимосвязь надежностного проектирования при различных подходах. Так, при схемном подходе важны, например, вероятности отказа, короткого замыкания и обрыва элемента при повреждении. Учет логических функций схемы при тех же повреждениях приводит к вероятностям ложного срабатывания и несрабатывания, а учет передаваемой информации — к вероятностям ложной команды (пропуску извещений) и пропуску команд (ложным извещениям). Если имеется не простейшая связь между одним входом и одним выходом, а сложная сеть связи, например, между одним источником и несколькими приемниками, тогда критерий вероятности безотказной работы становится недостаточным и приходится надежность такой схемы оценивать с помощью более сложного критерия — вероятности связности. Наконец, учет выполняемых функций в такой системе приводит к критериям эффективности функционирования или средних потерь.

9. О методах проектирования

Перейдем к краткой характеристике некоторых новых методов решения задач проектирования ТСС. Подробное рассмотрение методов проектирования ТСС выходит за пределы данной работы, так как здесь рассматриваются лишь принципы методики проектирования, а не сами методы проектирования, хорошо изложенные в соответствующей литературе.

Практически любая задача проектирования сводится к выбору лучшего, т. е. оптимального в каком-либо смысле варианта. При этом необходимо применение нескольких или всех из рассмотренных подходов. Кроме того, применение при выборе лучшего варианта подходящих методов зависит, в частности, от того, имеется и возможно ли получение математической модели задачи, является ли задача многовариантной, каковы трудности оценки каждого варианта, имеется ли достаточно полная информация для принятия решения и т. д.

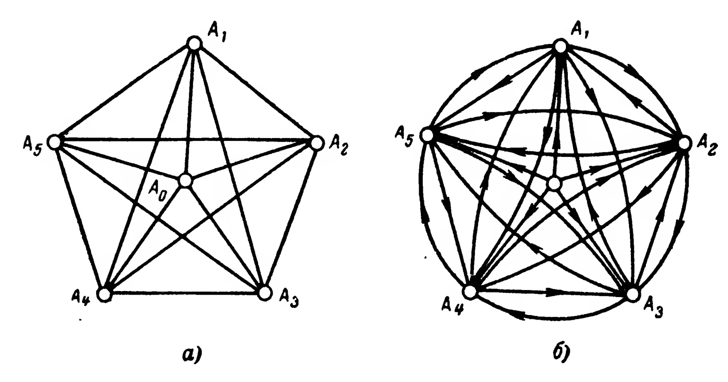


Рис. 8. Графы.

а — структуры системы; *б* — прохождения сигналов (сигнальный граф).

Однако для сложных систем, к которым можно отнести рассматриваемые ТСС, наиболее характерными являются методы моделирования и оптимизации. Методы моделирования с помощью универсальных цифровых или специализированных ВМ позволяют обойти трудности математического характера и большой размерности задачи, учесть ряд реальных условий и т. п.

Применение методов оптимизации является очень важным для проектирования сложных систем. Широко известны методы нахождения экстремума с помощью производных и правила неопределенных множителей Лагранжа. Однако при проектировании ТСС часто математическая модель (целевая функция) отсутствует, либо параметры оптимизируемой структуры входят в целевую функцию неясно, либо такую функцию получить не представляется возможным. В этих случаях большое значение может иметь применение методов динамического программирования и различных специальных методов поиска.

Примеры оптимизации при решении задач проектирования ТСС содержатся в работах [Л. 2, 32, 35, 36, 62, 70].

Рассмотрим пример надежностного моделирования структур в виде полного графа с шестью вершинами (рис. 8,*а*) [Л. 68]. В этом графе вершина A_0 может соответствовать ПУ, вершины A_1—A_5—КП, а ребра — каналам связи некоторой ТСС. Примем, что информация между управляющим и исполнительными пунктами может распространиться по всем возможным прямым и обходным путям. Тогда ориентированный граф прохождения сигналов при передаче информации с ПУ на КП будет иметь вид рис. 8,*б*.

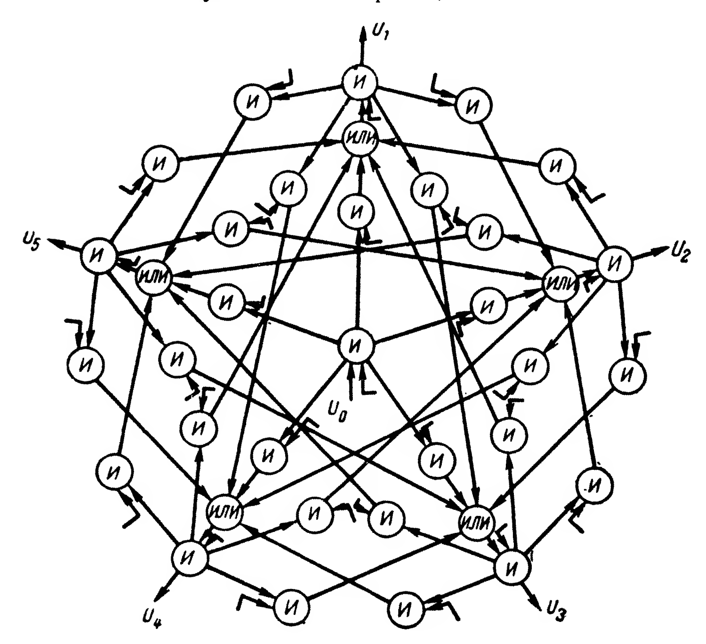


Рис. 9. Информационная надежностно-логическая модель структуры.

И — операция коньюнкции; *ИЛИ* — операция дизъюнкции; U_0 — управляющий сигнал на входе системы; U_1—U_5 — управляющие сигналы на выходах КП; стрелками (|→) показаны сигналы исправной работы элемента.

Если заданы вероятности r_i и p_j исправной работы каналов связи и пунктов соответственно ($0 \leqslant r_i \leqslant 1$; $i=1, 2, \ldots, 25$; $0 \leqslant p_j \leqslant \leqslant 1$; $j=1, 2, \ldots, 6$), то важнейшим надежностным показателем рассматриваемой структуры является вероятность R_n связности ПУ с n КП ($n=1, 2, 3, \ldots, 5$). Вероятность связности при $n=5$ будет вероятностью безотказной работы всей системы. По полученным вероятностям связности и при известных функциях эффективности от числа связных КП просто рассчитывается эффективность функционирования систем или средние потери.

Без учета особенностей схемных решений и передаваемой информации статистические испытания заданной структуры сводятся

к моделированию статистики неисправностей составляющих структуру элементов (вершин и ребер графа структуры) и логики ее работы. Моделирование логики работы структуры (графа прохождения сигналов) сводится к решению последовательности логических уравнений работы звеньев структуры. Подготовка к моделированию начинается с составления информационной надежностно-логической модели исследуемой структуры. На рис. 9 приведена такая модель для случая передачи сигналов от ПУ к КП. Она получена из графа рис. 8 следующим образом. Каждое ребро и вершина графа отображаются логической схемой совпадений *И* на два входа. На один из ее входов подаются сигналы наличия передачи информации от ПУ к КП, а на другой вход — сигнал исправности данного ребра или вершины. Если к вершине подходят несколько сигналов по различным путям, суммарный сигнал к ней подается через логическую схему *ИЛИ* на число входов, поступающих к вершине сигналов.

Блок-схема моделирующего алгоритма (программы моделирования) для моделей рассматриваемого вида приведена на рис. 10. Здесь блоки программы показаны в виде квадратов, а стрелки между ними указывают последовательность работы блоков. Программа состоит из шести основных блоков.

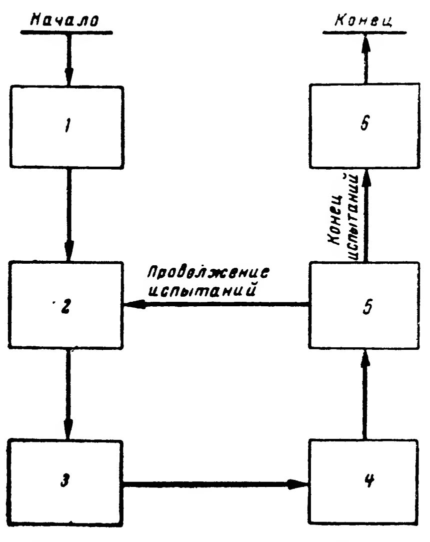


Рис. 10. Блок-схема моделирующего алгоритма.

1 — блок подготовки программы к испытаниям; *2* — блок получения псевдослучайных чисел; *3* — блок определения неисправных элементов; *4* — блок обегания информационной надежностно-логической модели; *5* — блок накопления статистических данных по испытаниям; *6* — блок обработки статистических данных и печать результатов.

Блок *1* приводит в исходное состояние всю программу, т. е. устанавливаются начальные состояния счетчиков, очищаются рабочие ячейки и т. п. Этот блок позволяет многократно запустить программу без ввода ее с перфоленты. Блок *2* вырабатывает массив случайных чисел q_i, равномерно распределенных в интервале $0 \div 1$. Полученные числа используются в блоке *3* для определения неисправных элементов структуры. В каждом данном испытании неисправным считается элемент, для которого

$$q_i > r_i \text{ или } q_i > p_j.$$

Далее информация о неисправных элементах поступает в блок *4*. В этом блоке на основании информации о поврежденных элементах определяется, в какие из выходов U_1—U_5 системы (рис. 9) могут поступать сигналы U_0 при наличии данной комбинации поврежденных элементов структуры. Эта задача сводится к решению

логических уравнений модели. В блоке *5* происходит накопление статистических данных о состоянии выходов системы в процессе проведения испытаний. Как видно из блок-схемы программы, процесс проведения испытаний организован циклически и каждому циклу соответствует одно испытание. В блоке *5* имеется переключатель управления, который после достижения требуемой точности или требуемого числа испытаний прекращает испытания и передает управление в блок *6* обработки статистических данных.

Глава третья

ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

10. Цепи двухпозиционных сообщений

Телемеханические цепи двухпозиционного контроля и управления (в дальнейшем будем называть их цепями двухпозиционных сообщений или просто двухпозиционными цепями) являются самыми распространенными. Для этих цепей особенно важно так построить цепь, чтобы при любых практически возможных помехах или повреждениях была бы исключена возможность самопроизвольного срабатывания исполнительного механизма или пропуска извещения об аварии. Ниже рассмотрены принципы построения надежно работающих схем без введения избыточности или при минимальной избыточности. Это достигается на основе учета особенностей выполняемых схемой функций, повреждений схем или влияния помех и соответствующего схемного, логического и информационного построения двухпозиционных цепей.

Таблица 3

Состояния двухпозиционных цепей при отказах

Назначение сигнала		Состояние входа цепи	Тормозной переход $1 \to 0$	Возбужденный переход $0 \to 1$
Управление (включить)	Нет команды	0	Потенциальный пропуск команды	Ложное срабатывание
	Есть команда	1	Пропуск команды	Потенциальное ложное срабатывание
Контроль (авария)	Есть извещение	0	Потенциальная ложная тревога	Пропуск извещения
	Нет извещения	1	Ложная тревога	Потенциальный пропуск извещения

Обратимся вначале к критериям оценки достоверности передачи двухпозиционных сообщений. Без учета затрат на передачу соответствие системы своему назначению при неидеальном функционировании наиболее полно характеризуется эффективностью функционирования или средними потерями. Для их определения необходимо знать совокупность всех возможных состояний системы или переходы состояний во времени, а также соответствующие веса эффекта или потерь. Возможные состояния при повреждении двухпозиционных цепей приведены в табл. 3. Если рассматривать возможные переходы состояний при повреждениях в цепи двухпозиционного управления, получим табл. 4.

Таблица 4

Характер отказов двухпозиционных цепей

Состояние входа цепи	Состояние цепи	
	Тормозной переход 1 → 0	Возбужденный переход 0 → 1
0	Потенциальный отказ в действии	Несвоевременное действие
0 → 1	Отказ в действии	Потенциальный отказ в возвращении
1	Несвоевременное возвращение	Потенциальный отказ в возвращении
1 → 0	Потенциальный отказ в действии	Отказ в возвращении

Задача заключается в том, чтобы построить схему, минимизирующую риск, который определяется согласно уравнениям, приведенным в § 8. Из указанных в табл. 3 переходов сигналов наибольшие потери (опасность) в промышленных условиях вызывают ложные срабатывания и пропуски тревог, а пропуски команд и ложные тревоги обычно равноценны отказу устройства и вызывают значительно меньшие потери, практически равные только полной потере эффективности устройства.

При указанной асимметрии потерь существует возможность минимизировать вероятность ложного срабатывания и пропуска тревоги путем построения максимально несимметричного канала и информационного согласования его с передаваемым сигналом [Л. 71]. Такой согласованный, в предельном случае полностью несимметричный канал может быть изображен графически диаграммой на рис. 11,*а*.

Рассмотрим подробнее построение согласованного несимметричного канала применительно к телемеханической или дистанционной передаче. Двоичный телемеханический или дистанционный канал можно представить состоящим из цепочки элементарных двоичных

каналов (ЭДК). Во входных и выходных ЭДК телемеханического канала преобладают коммутирующие и логические схемы, а в линейных ЭДК — пассивные и активные четырехполюсники.

Простейшие примеры включения или логические схемы несимметричного коммутирующего элемента с приемником информации

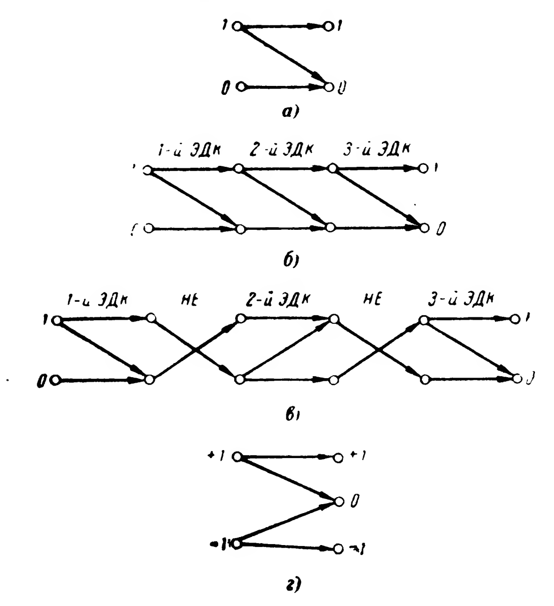


Рис. 11. Диаграммы.

а — двоичного несимметричного канала; *б* — согласованного включения цепочки каналов с однонаправленной асимметрией; *в* — согласованного включения цепочки каналов с разнонаправленной асимметрией; *г* — стирающего канала.

в цепях контроля и управления приведены на рис. 12 (несимметричным элементом ЭДК называют элементы с неравными вероятностями короткого замыкания или обрыва при повреждениях). Функции коммутации здесь могут выполняться посредством контактов реле, а также посредством транзисторов, тиратронов и т. п. Для системы, содержащей один коммутирующий элемент x и один приемник X, возможны 2^3 комбинаций построения схем, которые отличаются логической инверсией (последовательные и параллельные схемы), инверсией сигналов (замыкающие и размыкающие схемы) и пространственной инверсией (включение приемника к плюсу и к минусу источника питания) [Л. 67].

Вероятности ложного срабатывания и несрабатывания схем на рис. 12 определяются структурой схемы и асимметрией повреждений. Согласованное включение этих схем означает, например, что для цепей управления должны применяться нормально не возбужденные схемы с последовательным включением коммутирующего элемента, если вероятность обрыва больше вероятности короткого

замыкания, а для цепей контроля — нормально возбужденные схемы мы с аналогичной структурой. Если наиболее вероятно короткое замыкание при повреждении, должны использоваться схемы с параллельной структурой. На рис. 13,*а* и *б* показаны примеры схемного построения безопасно действующих асимметричных логических схем И на бесконтактных элементах [Л. 9, 72]. В схеме рис. 13,*а* вначале подается сигнал частоты f_1, а затем — сигнал частоты f_2 и при этих условиях появляется выходной сигнал. Схема рис. 13,*б* отличается тем, что в ней предусматривается модулирующий тактовый сигнал (строб). В обеих схемах при всех наиболее вероятных повреждениях элементов не возникает опасных положений. В других работах описываются безопасно действующие логические схемы И—ИЛИ, НЕ, ПАМЯТЬ на специальных феррит-транзисторных элементах, разветвленном магнитопроводе типа «логической лестницы» и прочих элементах.

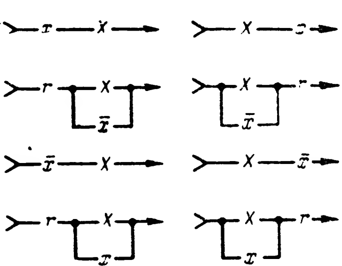


Рис. 12. Варианты построения логических схем с одним приемником (X) и коммутирующим элементом x.

r — сопротивление.

Асимметрия группы линейных ЭДК, включенных между входными и выходными ЭДК, достигается применением простейших видов модуляции в сочетании со специальными демодуляторами (фильтрами). Так обычно сигнал единицы передается импульсными сериями постоянного напряжения или частотно-модулированными импульсами, а в качестве демодуляторов используются конденсаторно-вентильные или трансформаторно-вентильные цепочки. Таким построением достигается наибольшая степень самоконтроля схем и максимальная несимметричность переходов.

Дальнейшее снижение вероятности наиболее опасных состояний может быть достигнуто следующими видами согласования [Л. 71]. Входные, линейные и выходные ЭДК всего канала согласовываются между собой по вероятностям перехода, т. е. все они должны иметь преобладающим один из переходов, обычно тормозной (структурное согласование) (рис. 11,*б*). Элементарные двоичные каналы с преобладанием возбужденного перехода (второй ЭДК на рис. 11,*в*) согласовываются с тормозными посредством инвентирующих схем НЕ (рис. 11,*в*). Такой структурно согласованный канал согласуется с системой сигналов (информационное согласование), т. е. в случае преобладания тормозного перехода в канале сигналы управления должны кодироваться единицей и сигналы контроля нулем, а в случае преобладания возбужденного перехода должна быть принята инверсная система сигналов.

Подытоживая изложенное, можно сделать вывод, что принцип информационно-структурного согласования состоит в следующем. Производится выбор элементов, у которых вероятности короткого замыкания и обрыва при повреждении наиболее отличаются по величине. Выбранные элементы соединяются в структуры (последовательные, параллельные или комбинированные), при которых достигается максимальная несимметричность ЭДК. Далее ЭДК со-

гласуются между собой по вероятностям перехода. Наконец, с учетом полученной несимметричности всего канала и назначения передаваемого сообщения выбирается система сигналов (элементарное кодирование), при котором минимизируются вероятности наиболее опасных переходов.

Более сложной реализацией безопасно действующей двухпозиционной цепи является построение цепи по принципу полностью

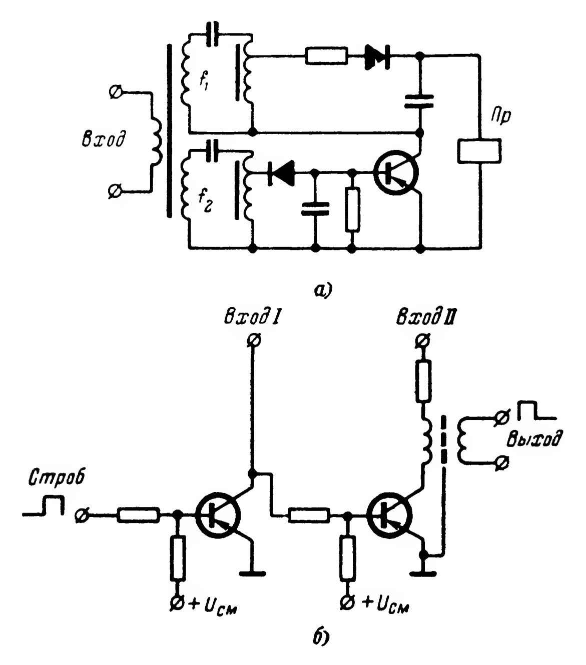


Рис. 13. Безопасно действующие логические схемы И.

а — последовательного; *б* — параллельного действия; f_1, f_2 — частоты первой и второй посылок соответственно; *Пр* — приемник.

стирающего канала (рис. 14) [Л. 67]. Этот канал имеет три состояния — два информационных и одно стирающее (см. рис. 11,*г*). Стирающее состояние соответствует наличию повреждений в схеме. На рис. 14 информационными являются состояния, при которых на *Пр* подается положительная или отрицательная полярность, а стирающим — состояние, при котором на *Пр* подается переменный ток. Стирающий канал практически реализуется во многих схемах двухполярной передачи. Сейчас также начинают применять последовательную прямую и инверсную передачу в схемах двухпозиционного контроля и управления и другие специальные способы.

В отдельных случаях применяют мажоритарные схемы, т. е. схемы выбора по большинству 2 из 3, 3 из 5 и т. д., и схемы с обнаружением или исправлением ошибок. Однако вопросы повышения

безопасности и безотказности действия схем с помощью введения избыточности выходят за пределы настоящей книги.

Построение действующих безопасно сложных логических контактных схем достигается применением реле первого класса надежности и включением фронтовых контактов этих реле в ответственные цепи, а также использованием импульсной работы в схемах с реле второго класса.

Таким образом, существуют следующие способы построения безопасно действующих при повреждениях схем без введения избыточности: 1) двухполюсное размыкание и шунтирование нормально-невозбужденных цепей; 2) самоконтроль повреждений путем последовательного соединения элементов, если преобладают обрывы, и параллельного — если короткое замыкание, в сочетании с введением обратных связей; 3) использование импульсного режима работы; 4) применение асимметрично повреждающихся коммутирующих и логических элементов и кодирование команд наименее вероятными состояниями при повреждениях, а извещений — наиболее вероятными; 5) построение логических схем так, чтобы исходная функция включала все возможные логические функции при повреждениях; 6) использование прямого и инверсного представления и стирающего канала.

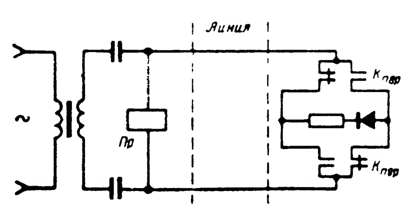


Рис. 14. Пример построения безопасно действующей схемы на принципе стирающего канала.

$K_{пер}$ — контакты передатчика; *Пр* — приемник, реагирующий на полярность.

11. Цепи текущих сообщений

Цепями текущих сообщений в основном являются цепи телеизмерений ближнего действия. Рассмотрим особенности этих цепей, а также специфику борьбы с помехами в измерительных цепях централизованного контроля.

Сейчас наиболее распространенными в условиях ПП являются частотные (4—8 *кгц*) и токовые (0—5 *ма*) телеизмерительные системы с широко известными электросиловыми преобразователями. Разработаны и применяются время-импульсные телеизмерительные системы [Л. 9, 20, 37]. Общей структурной особенностью этих систем является применение развертывающего преобразования на основе экспоненциальных, кодовых или других временных разверток.

Для преобразования угол — время — импульсный сигнал применяются также сельсины и индукционные фазовращатели.

При связи с ВМ каждый из принятых из линии сигналов необходимо преобразовать в код. Если преобразователь аналог — код размещен на передающем конце, по линии передается кодо-импульсные сигналы или в некоторых случаях — число-импульсные сигналы.

С точки зрения построения телемеханических цепей для ТИ наиболее специфичной является передача аналоговых сигналов. В большинстве АСУ для ПП не требуется быстродействие обегания

(до 100 точек в секунду). В этих системах цепочка телеизмерений с аналоговыми сигналами обычно содержит коммутатор первой ступени, групповой блок нормализации и преобразования в унифицированный сигнал, фильтр подавления помех, коммутатор второй ступени и блок цифрового преобразователя.

Вопросы сбора аналоговой информации с учетом унификации сигналов от различных датчиков в системах централизованного контроля рассмотрены в работе [Л. 74].

Опишем теперь кратко некоторые особенности борьбы с помехами в измерительных цепях централизованного контроля рассредоточенных объектов [Л. 22—24].

Борьба с поперечными помехами ведется путем скручивания сигнальных проводов, а при сильных полях — применением магнитных экранов. Некоторые поперечные помехи в сигнальных цепях можно компенсировать. Используя, например, отличие спектра помехи от спектра сигнала, можно подавить помеху с помощью фильтра, если это не ведет к уменьшению быстродействия схемы.

Борьба с продольными помехами ведется путем прокладки изолированного заземляющего провода в одной трассе с измерительной линией и как можно ближе к ней, а также путем транспонирования, т. е. перекрещивания заземляющего провода с измерительными линиями. Большое значение в борьбе с продольными помехами в измерительных цепях имеет правильный выбор измерительного усилителя и монтаж линии связи. Нельзя заземлять один из входных зажимов усилителя при заземленном преобразователе, так как в этом случае продольная помеха почти полностью превращается в поперечную. Однако этого не происходит, если входные и выходные цепи усилителя гальванически изолированы друг от друга, а входная цепь также изолирована от земли. Иначе говоря, целесообразно применять изолированный или дифференциальный усилитель. Очень важное значение имеет экранирование линий связи. Экран должен иметь только одну точку заземления. В противном случае токи помехи, протекающие по экрану, могут оказаться слишком большими, и экран перестанет быть эквипотенциальным. Для устранения помех от потенциалов заземления в зависимости от конкретных условий избирают следующие пути. Прежде всего важно уменьшить сопротивление проводника, образующего цепь заземления, чтобы накоротко замкнуть возникающую разность потенциалов. Многие способы борьбы с этим широко распространенным видом помех направлены на то, чтобы разорвать цепь заземления, сохраняя в то же время сигнальную цепь. Один из вариантов реализации этого способа — питание усилителя от электрически изолированного источника или электрическая развязка датчика от земли. Целесообразно корпус измерительного нормирующего преобразователя, стойку с измерительными преобразователями и ВМ устанавливать на изоляционной подставке, а корпуса всех устройств должны быть соединены заземляющим изолированным проводом, который только в одном месте подсоединяется к заземляющему контуру. Наиболее широко используемый метод уменьшения ошибок, обусловленный рассмотренными помехами, заключается в подключении сигнальных цепей от датчика ко входам усилителя по дифференциальной схеме. Статистические методы оценки и повышения помехоустойчивости ТИ подробно рассмотрены в [Л. 2].

12. Цепи интегральных сообщений

Сообщения об интегральных значениях параметров за некоторое время могут отображаться непрерывными сигналами (расходы газов, воды, пара и т. д.), импульсными сигналами приращений количества (от первичных интегрирующих приборов, датчиков счета транспортных единиц и штучных изделий и т. д.), кодовыми сигналами (от весов) и пассивными двухпозиционными контактами (время простоя). Построение цепей телемеханической передачи интегральных сообщений, выраженных непрерывным сигналом, определяется главным образом принятыми методами интегрирования и передачи. Возможны два основных метода интегрирования: по дискретным отсчетам, непрерывное интегрирование с помощью специальных интеграторов.

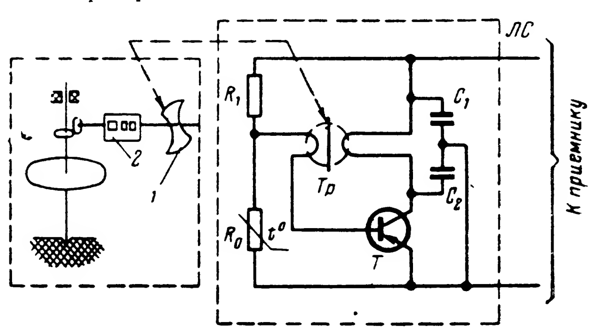


Рис. 15. Схема импульсного преобразователя к счетчикам расхода электроэнергии.

В первом случае построение цепей ТИИ практически мало чем отличается от рассмотренных в § 11. В системах оперативного управления, например, учет расхода данного материального потока за смену (сутки) часто производится умножением среднесменного (среднесуточного) значения этого расхода на 8 (24). При непрерывном интегрировании интегратор может размещаться на передающем пункте, одновременно выполняя функции преобразователя для телемеханической передачи, а подсчет импульсов от интегратора может осуществляться групповым счетно-накопительным устройством или непосредственно вычислительной машиной. Такие системы телемеханической передачи названы интегрально-импульсными [Л. 61].

В интегрально-импульсных телеизмерительных системах для непрерывного интегрирования могут применяться интеграторы различных типов: электромеханические токовые, электронные токовые, частотные, электрохимические и др.

Электромеханический интегратор используется, например, в системе ТИИ для дистанционного учета расхода электроэнергии [Л. 75]. Преобразование изменения положения электросчетчика в число-импульсные (интегрально-импульсные) сигналы осуществляется с помощью импульсного преобразователя (рис. 15). Он представляет собой генератор с самовозбуждением, частота генерации которого

равна 50—40 *кгц*. Генератор собран на транзисторе *Т* и ферритовом трансформаторе *Тр* с двумя обмотками. Сердечник трансформатора имеет поперечную прорезь, в которой вращается латунный диск *1*, управляющий работой генератора. Латунный диск имеет два диаметрально расположенных выреза и укреплен на оси, связанной с правым крайним барабанчиком (младшим разрядом) счетного механизма *2* через шестерни с постоянным передаточным отношением 5 : 1. При отсутствии диска в прорези сердечника генератор возбуждается. Вхождение диска в зазор приводит к резкому срыву генерации. Транзистор *Т* работает как ключ, обеспечивающий коммутацию цепи источника напряжения постоянного тока, подаваемого с приемника.

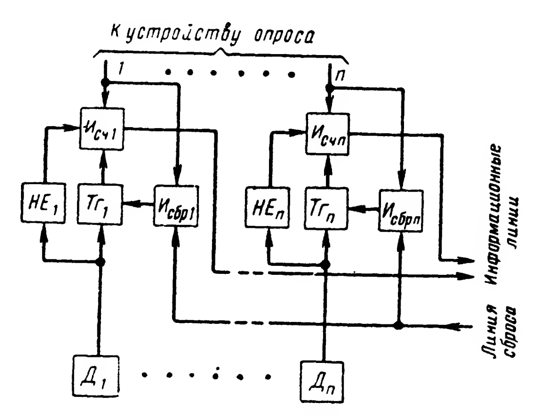


Рис. 16. Блок-схема устройства для телемеханической передачи асинхронных импульсных сигналов.

Интегрально-импульсные сигналы от интеграторов поступают на буферные запоминающие узлы, где запоминаются до момента опроса распределителем телемеханического устройства. Особенность построения буферных запоминающих узлов при временно́м разделении сигналов обусловлена требованием исключения пропуска сигнала или появления ложного сигнала при одновременном появлении на одной ячейке памяти двух импульсов — импульса записи от интегрально-импульсного преобразователя и импульса считывания опрашивающего устройства распределителя. Для этого интегрально-импульсный сигнал считывается с буферной ячейки памяти только после окончания заднего фронта импульса записи в момент действия тактового импульса считывания. В момент же действия импульса записи считывание запрещается. Период опроса одной буферной запоминающей ячейки выбирается всегда меньшим минимальной паузы между входными импульсами от преобразователей. Повышение надежности передачи асинхронных интегрально-импульсных сигналов достигается, в частности, следующим образом (рис. 16) [Л. 77]. Импульсные сигналы от датчиков $Д_1$—$Д_n$ поступают в ячейки $Тг_1$—$Тг_n$ буферной памяти, записывая единицу. Одновременно осуществляется циклический либо программно-цикли-

ческий синхронно-синфазный для передающего и приемного пунктов опрос этих ячеек через схемы совпадений $И_{сч1}$—$И_{счn}$. Период опроса каждой ячейки, как указано выше, выбирается всегда меньшим минимальной паузы между смежными входными асинхронными импульсами от датчиков. Длительность входного импульса от датчиков может быть больше периода опроса этого датчика. Поэтому предусматривается инвертирующая схема *НЕ*, запрещающая считывание единицы до конца действия входного импульса. При совпадении вышеуказанных трех условий в информационную линию связи передается информационный импульс, который на приемном пункте (на рисунке не показан) избирается и подается на соответствующий блок обработки. Если на i-м шаге принят информационный импульс, на передающий пункт через схему задержки по линии сброса передается групповой импульс сброса, воздействующий на линейные входы схем совпадения $И_{сбр1}$—$И_{сбрn}$. Однако импульс сброса подается только к i-й ячейке буферной памяти, так как только на i-м шаге действует еще импульс опроса. В следующий такт на $(i+1)$-м шаге устройство действует аналогично. В случае пропуска импульса в линии или аппаратуре сигнал сброса с приемного пункта не подается и тогда считывание, передача и все другие операции для i-й ячейки повторяются на следующем цикле передачи. Для уменьшения вероятности появления ложных импульсов в линейных цепях при наличии описанной обратной связи и возможности задержки передачи импульса может быть повышен порог срабатывания линейных узлов приема.

Схема с описанной обратной связью приводит к уменьшению искажений информации (пропусков импульсов, или ложных импульсов) при нарушении синхронности и синфазности опроса. В интегрально-импульсных системах подсчет числа импульсов осуществляется на приемном пункте, где одновременно может осуществляться и масштабирование [Л. 78].

В ряде устройств подсчет интегрально-импульсных сигналов осуществляется на передающем конце [Л. 20]. В этом случае схема счетчика обычно выполняется на элементах, сохраняющих информацию при перерывах питания. Пример структурного построения передающей схемы по этому принципу приведен в § 17.

Известны также варианты, когда интегрально-импульсный сигнал вводится в ВМ непосредственно с помощью прерывания программы.

13. Цепи кодовых сообщений

Кодирование. Под кодированием понимают преобразование дискретных или квантованных непрерывных сообщений в кодовые комбинации. Последние представляют собой набор некоторых элементарных сигналов (импульсов или комбинаций импульсов и пауз). Система (набор) кодовых комбинаций, поставленных в соответствие набору сообщений, представляет собой код. Как уже указывалось, основными характеристиками кода являются: основание кода, способ комбинирования, длина (разрядность) кода, правило сопоставления сообщений кодовым комбинациям, импульсные признаки, способ передачи (разделения) элементарных сигналов [Л. 2].

В рассматриваемых ТСС применяются в основном коды с основанием два и иногда с основанием три (в цепях селекции). По

применению различных способов комбинирования можно выделить следующие коды: коды с постоянным весом 2 из 5, 1 из 10; многоступенчатые коды: двоично-десятичные, двоично-восьмеричные; двоичные число-импульсные (число-символьные); коды с прямым и инверсным представлением (зеркальным повторением); коды с исправлением ошибок и другие коды. Разрабатываются системы телеизмерения и разделения сигналов на основе применения псевдослучайных кодовых последовательностей. В ТСС широко применяются различные виды передачи с обратной связью.

В ТСС ближнего действия часто используются параллельные коды с амплитудными («да», «нет»), частотными или полярными импульсными признаками.

Ниже приводятся примеры построения некоторых цепей кодовых сообщений.

Ручной ввод данных. Устройства ручного ввода данных по принципу использования датчиков информации (наборных панелей, полей, клавиш) можно разделить на схемы с индивидуальным и групповым набором. В первом случае каждое сообщение набирается на индивидуальных наборных панелях, которые обегаются распределителями для передачи. Во втором — используются групповые для всех сообщений клавиши или номеронабиратели, на которых поочередно набираются коды адреса, признака и значения сообщения. Кроме того, можно различать устройства со стационарными датчиками сообщений (наборными переключателями, клавишами) и с переносными датчиками (именными колодками, жетонами).

Для передачи сообщений при ручном вводе данных применяются параллельные коды 1 из 10 с амплитудными импульсными признаками, последовательные и параллельные коды 2 из 5, двоично-восьмеричные, двоично-десятичные и число-импульсно-десятичные коды с амплитудными импульсными признаками, а также другие коды [Л. 3, 5, 8, 79]. Особенностью ручного ввода данных является наличие информационной обратной связи для визуального контроля оператором принятой ВМ информации и последующей подачи команды в случае отсутствия ошибок.

Алгоритмическое построение цепей при ручном вводе информации в ВМ совпадает практически с общими принципами построения алгоритмических связей ВМ с внешними устройствами.

В заключение кратко рассмотрим работу схем цепей ручного ввода, описанных в [Л. 8] (рис. 17). Здесь импульс опроса десятичных переключателей *ПД* пульта ввода ПТВ посылается с пункта группового обегания *ПГО* через линейные узлы (ЛУ) по линиям связи $ЛС_1$. От *ПТВ* с каждого *ПД* на *ПУ* посылается код 1 из 10 по общей для многих *ПД* многопроводной линии связи $ЛС_2$. Каждый провод этой линии для повышения помехоустойчивости зашунтирован сопротивлениями $R_ш$ (около 100 *ом*). На ПУ код 1 из 10 принимается приемником *Пр* (в котором могут содержаться интегрирующие цепочки для борьбы с помехами), проверяется на отсутствие ошибок в узле *КОШ* и после преобразования узлом *ПРК* в двоично-десятичный код вводится в ВМ.

Телекоррекция заданий регуляторам. В связи со сравнительно небольшим временем безотказной непрерывной работы управляющих вычислительных машин (УВМ), необходимостью профилактических ремонтов и другими причинами обычно предусматривается двухступенчатая схема регулирования. При такой схеме УВМ только рассчитывает задания индивидуальным регуляторам. В этом случае

ручное изменение задания часто оказывается неприемлемым, если количество каналов регулирования достаточно велико или если производится автоматический поиск оптимального режима работы. В зависимости от выбора алгоритма управления строятся две структуры связи машины с регулируемым объектом: системы с отработкой абсолютного положения регулирующего органа (позиционные системы) и системы с отработкой изменения положения ре-

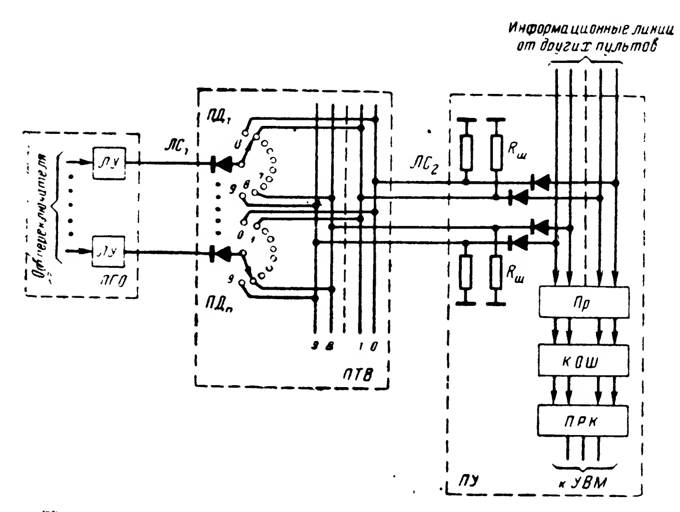


Рис. 17. Вариант построения цепи ручного ввода данных.

гулирующего органа (инкрементные системы) [Л. 80]. В одной из систем инкрементного типа связь УВМ с регулятором производится через блок автоматической коррекции задания, сигнал которого суммируется с сигналом ручного дистанционного задатчика [Л. 81]. Обычно максимальное значение сигнала блока коррекции лежит в пределах 10—20% задания, установленного на задатчике. Благодаря такой структурной схеме в случае отказа УВМ регулятор отрабатывает задание, не превышающее некоторых заранее принятых границ; это ухудшит режим, но не вызовет аварии.

Схемная реализация изменения задания регулятору, которым осуществляется поддержание заданного значения выходной величины, может осуществляться при помощи исполнительного механизма, который механически изменяет задание, установленное на регуляторе, и путем изменения условий равновесия входного моста регулятора [Л. 82].

Один из вариантов изменения условий равновесия моста может быть осуществлен путем встройки во вторичный прибор специальной схемы на коммутируемых сопротивлениях.

В практике часто требуется применение первого вида схем, которые включают шаговый или другой двигатель для изменения положения задатчиков. С этой целью может применяться также до-

полнительный корректирующий регулятор. В этих случаях сравнение задания с действительным положением задатчика может осуществляться либо в цифровом виде (двоичный или число-импульсный код), либо в аналоговом.

Рассмотрим работу устройства с число-импульсной передачей задания [Л. 81].

В момент выдачи из УВМ задания в ее выходных регистрах записываются в двоичном коде: адрес, приращение уставки и знак

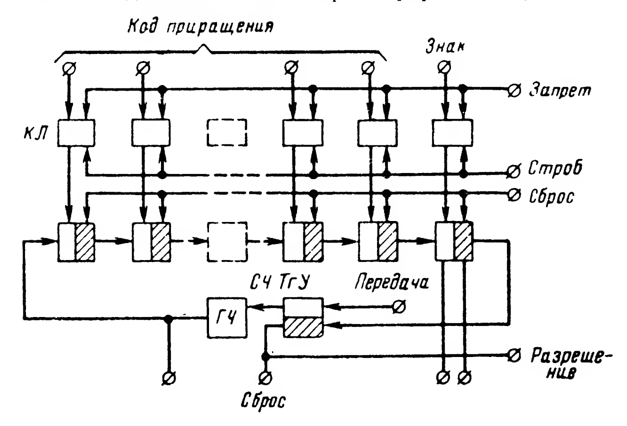


Рис. 18. Схема передающего число-импульсного устройства телекоррекции заданий регуляторам.

приращения. Далее следует последовательность сигналов; «Установка нуля», «Строб» и «Передача». По сигналу «Строб» содержимое регистра УВМ (на рис. 18 код величины и знака приращения) через ключи *КЛ* переписывается в счетчик *СЧ*, а сигналом «Передача» перебрасывается триггер управления *ТгУ*, который включает генератор частоты *ГЧ* ($f=25$ *кгц*). Импульсы с выхода *ГЧ* поступают на вход счетчика *СЧ* и параллельно через линейные усилители (на рис. 18 не показаны) и линии связи на приемные устройства всех КП. Импульс переполнения счетчика возвращает триггер *ТгУ* в исходное положение, прекращая работу *ГЧ*. Одновременно через линейные усилители и линии связи на приемные устройства всех КП подается сигнал «Сброс». Число импульсов, выданных *ГЧ* (нормальный единичный код), определяет дополнительный код приращения уставки.

В схему приемного устройства (рис. 19) входят триггер *ТгА*, который управляет ключами $КЛ_{пр}$, разрешающими прохождение нормального единичного кода на входной формирователь *ВФ* и импульсов больше *Б* или меньше *М* (на соответствующие триггеры *ТгБ* и *ТгМ*), а также пересчетное устройство *УП*, реверсивный двигатель *РД-09Ш*, генератор-формирователь *ГФ* и выходные элементы *ПФ* (ферродинамический) и *ПС* (струнный).

Прием информации происходит следующим образом. При выборе объекта возбуждается соответствующий триггер *ТгА* и открывает ключи $Кл_{пр}$, импульсы с которых воздействуют на соответствующие триггеры *ТгБ* или *ТгМ* и на входной формирователь *ВФ* (инфор-

мация о величине и знаке уставки с ПУ подается на все объекты параллельно и одновременно). В подключенном пересчетном устройстве запишется дополнительный код приращения уставки. Хотя импульсом *Б(М)* триггеры *ТгБ (ТгМ)* переключаются, однако ротор двигателя остается неподвижным, так как выходные транзисторы этих триггеров блокируются триггером *ТгА* (на рис. 19 цепи блокировки не показаны). После сигнала «установка нуля» эти блокировки снимаются и двигатель начнет вращаться в соответствующую сторону. При этом импульсы от устройства обратной связи (*ГФ*)

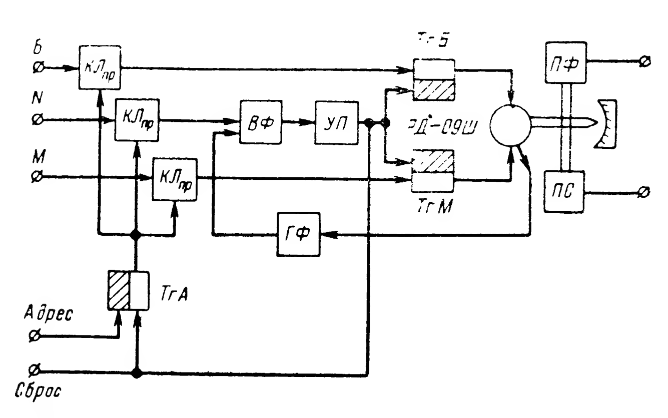


Рис. 19. Схема приемного число-импульсного устройства телекоррекции заданий регуляторам.

пересчитываются в *УП*. После воздействия импульса переполнения один из триггеров (*ТгБ* или *ТгМ*) вернется в исходное положение. Ротор двигателя остановится, поскольку запираются выходные транзисторы этих триггеров. Угол поворота ротора однозначно определяется количеством импульсов, дополняющих до 2^n число, записанное в пересчетном устройстве нормальным единичным кодом. Следовательно, угол поворота ротора двигателя определяется прямым кодом приращения уставки. Через соответствующие кинематические цепи двигатель поворачивает оси выходных преобразователей.

Разработаны также устройства позиционного типа, в которых задание передается двоичным кодом [Л. 83]. Для повышения надежности передачи команд телекоррекции применяют информационную обратную связь с одновременной проверкой по четности [Л. 20]. В устройстве [Л. 84] двоичный код от УВМ, запасенный в выходных устройствах, преобразуется в импульс постоянного тока, длительность которого определяет уставку на механизме отработки задания. При этом возбуждается одна из шин — прибавить или убавить в соответствии с характером команды. В некоторых устройствах задание передается непрерывными сигналами [Л. 80].

Для повышения надежности выдачи управляющих воздействий часто предусматривается защита от поступления из машины неправильного числа, а параллельно питающим напряжениям включаются аккумуляторы в буферном режиме. Такое включение дает возможность при остановках машины, бросках напряжения в сети и даже

при полном отключении сети сохранять последнее значение кода, выданное управляющей машиной. Кроме того, управляющие воздействия могут регистрироваться (например, на многоточечных самописцах).

Межмашинная цифровая телесвязь. Устройства межмашинной или межсистемной связи предназначены для организации автоматического обмена информацией между удаленными локальными системами в АСУ. Передача межмашинной информации может осуществляться по индивидуальным кабельным линиям связи либо по телефонным каналам АТС. Для примера рассмотрим принципы работы цепей одной из систем [Л. 85]. Все устройства этой системы работают в стартстопном режиме. За один стартстопный цикл осуществляется передача и контроль девяти двоичных разрядов. Время стартстопного цикла при несущей частоте 1 000 *гц* — 20 *мсек*. В системе используется амплитудно-фазовая модуляция. Контроль переданной информации осуществляется по модулю 3 с решающей обратной связью. Канал прямой передачи и канал обратной связи осуществлены по одной двухпроводной цепи. Система состоит из нескольких одинаковых приемо-передающих телемеханических устройств, соединенных линией связи произвольной структуры. Перед началом сеанса связи по команде от координирующей системы в линию связи выдается частотный сигнал «вызов», по которому все устройства системы, кроме передавшего сигнал, устанавливаются в режим приема. Затем следует передача кода адреса той локальной системы, с которой должна быть установлена связь. Устройство, принявшее адрес, выдает в линию сигнал «правильно», а в центральное устройство — сигнал «прерывание». При получении этого сигнала центральное устройство считывает код адреса с входного регистра, контролирует его и в случае отсутствия искажения выдает команду на передачу этого же кода обратно на передавшее его устройство, где он снова контролируется. Таким образом, в этом случае система осуществляет работу как с решающей обратной связью (контроль по модулю 3), так и с информационной. Этот режим работы является служебным и обеспечивает повышенную достоверность передачи.

После установления связи по заданному адресу и обмена служебной информацией система переводится в основной режим — рабочий. В этом режиме осуществляется передача информации в одном направлении с контролем по модулю 3 и с решающей обратной связью, причем направление передачи задается во время служебного режима работы. Режим работы устройств устанавливается по соответствующим командам центрального устройства.

В другом устройстве межмашинной связи по индивидуальным кабельным каналам информация по линии передается импульсами постоянного тока [Л. 87]. В этом устройстве для передачи информации с длиной сообщения 24 двоичных разрядов со скоростью 1 000 *дв×разр/сек* на расстояние до 5 *км* используется пять жил телефонного кабеля.

Цепи избирания. В цепях избирания устройств с адресным и конвейерным принципами избирания пунктов, широко применяемыми в ТСС, используются двоичные, троичные, восьмеричные, десятичные коды и коды с избыточностью [Л. 37, 61, 81, 85, 87—89].

Работа одного из устройств адресного избирания [Л. 84] заключается в подключении объекта к информационным линиям с помощью индивидуальных для каждого объекта телеячеек. Эти ячей-

ки управляются подаваемыми с ПУ параллельными двоичными кодами адреса, причем питание на ячейки подается с ПУ, а шины центрального питания используются для комбинирования избирания. В этом устройстве к любой точке линии можно подключить телеячейку (дешифратор) адреса объекта, и объединение телеячеек в КП носит чисто условный характер.

Рассмотрим кратко работу блок-схемы такого устройства (рис. 20). От блока управления *БУТ* к шинам кодовой развертки с частотой 1,5 *гц* подается последовательность двоичных наборов

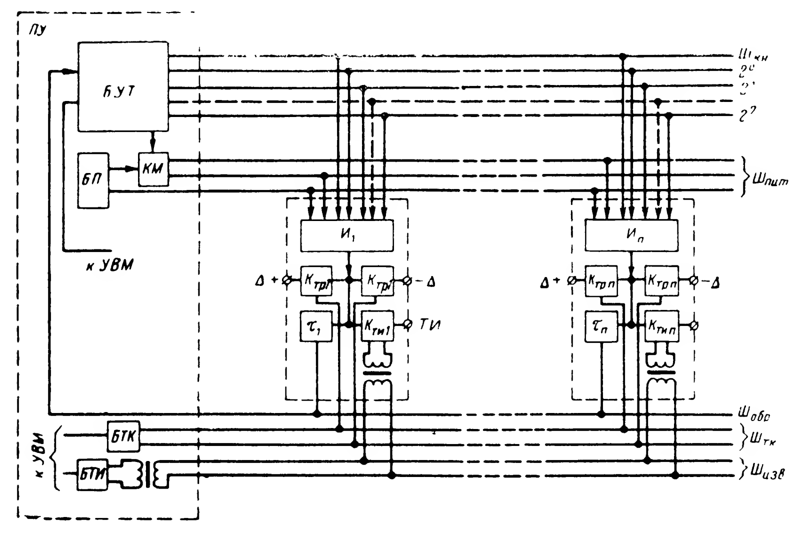


Рис. 20. Блок-схема адресного устройства избирания объектов.

БП — блок питания; *КМ* — коммутатор питания телеячеек; $И_i$ — избирающие объект телеячейки; $К_{тр}$ — ключи приема телеуправления (телекоррекции); $К_{ти}$ — ключи передачи телеизмерения; τ_i — генератор длительности адресного импульса обратной связи; БТК, БТИ — блоки передачи (приема) телеуправления (телеизмерения); $Ш_{кн}$, $Ш_{обр}$, $Ш_{тк}$, $Ш_{изв}$ — шины контроля, обратной связи, телекоррекции и извещений соответственно.

адресов объектов, выраженных потенциальными сигналами. Вследствие этого соответствующий каждому набору дешифратор (телеячейка) $И_i$ подключает к общим информационным шинам (линиям) передающие устройства телеизмерений или приемные устройства телеуправления. Кроме того, предусматривается коммутация шин питания дешифраторов. С целью повышения достоверности в устройстве предусматривается специальная информационная обратная связь. Для этого выходом выбранного дешифратора запускаются соответствующие генераторы τ_i посылок импульсов постоянного тока, длительность которых определяется адресом выбранного объекта. Здесь может также осуществляться защита кода адреса по четности путем введения дополнительной шины контроля. Это устройство отличается простотой и надежностью, обусловленных принципом избирания и центральным питанием, повышенной поме-

хоустойчивостью за счет потенциального избирания и отсутствия памяти при избирании, гибкостью и эффективностью избирания.

В другом аналогичном адресном устройстве [Л. 80] для выбора объекта используется восьмеричная адресная система. Девятиразрядный двоичный регистр тремя группами по три разряда в каждой управляет тремя дешифраторами, выбирающими в каждый момент через линейные цепи и адресные дешифраторы одну из 512 адресных шин. Временное стробирование выбранного адреса производится с помощью схемы НЕ — И с четырьмя входами (три адресные шины и одна шина стробирования). Это устройство отличается надежностью, быстродействием и функциональной гибкостью системы связи с объектом. В адресных системах избирания объектов для повышения входного сопротивления линий связи во входных усилителях КП используются эмиттерные повторители [Л. 88].

Рассмотренные принципы построения цепей устройств избирания входят в группу программных принципов организации передачи информации (см. § 7 и 18а).

В устройствах ТСС нередко используются схемы, реализующие адресные алгоритмы передачи.

Специфические особенности при адресных алгоритмах связи имеют цепи разделения сигналов по форме, используемые в широкополосных системах связи [Л. 103]. Эти цепи на передающем пункте содержат узлы кодирования адреса и значения параметра псевдослучайными сигналами, из которых наиболее распространенными являются последовательности максимальной длины [Л. 104], а на приемном — корреляторы, или согласованные фильтры, и экстремальные, или пороговые устройства.

Псевдослучайными названы сигналы, генерируемые вполне детерминированным образом, например, с помощью регистров сдвига, охваченных линейной обратной связью с сумматором по модулю 2, или с помощью специальных кодовых масок и имеющие вид автокорреляционной функции, близкий к автокорреляционной функции «белого шума», т. е. резко выраженный основной пик и малые боковые лепестки. Применение псевдослучайных сигналов в ТСС может иметь ряд достоинств. Эти достоинства связаны, с одной стороны, со свойствами самих псевдослучайных сигналов и, с другой,— с совокупностью требований и условий применения ТСС для ПП.

Псевдослучайные сигналы обладают свойством подавления импульсных помех, самосинхронизации, возможностью разделения сигналов по форме и рядом других ценных свойств [Л. 103, 104]. Генерирование этих сигналов с помощью регистров сдвига или вращающихся кодовых масок аппаратурно не сложно. Временной масштаб или форма псевдослучайного сигнала могут изменяться в процессе работы, что важно, например, для согласования формы сигнала и помехи с целью наиболее эффективного подавления последней. В этом свойстве заложены предпосылки для сравнительно простой реализации адаптации ТСС к неизвестному или изменяющемуся характеру помех. Особенности требований к телемеханической передаче в ТСС связаны с необходимостью одновременного повышения быстродействия, помехоустойчивости и точности, а также более эффективного использования каналов связи и повышения экономичности связи телемеханических устройств с ВМ. Противоречивость этих требований очевидна. Применение псевдослучайных сигналов в ТСС в некоторых случаях может помочь разрешить эти противоречия. Это достигается за счет расширения используемой по-

лосы частот (либо увеличения времени передачи), незначительного усложнения передающих устройств и большого увеличения обработки сигнала на приемном пункте. Однако в ТСС операции по разделению сигналов по форме и измерению других параметров входных сигналов могут быть переданы ВМ, а для ввода в ВМ псевдослучайных сигналов от множества объектов можно использовать общий для всех объектов канал и аппаратуру связи.

Таким образом, существует возможность за счет расширения используемой полосы частот, некоторого усложнения передающих устройств и применения ВМ на приемном пункте повысить в определенных пределах в зависимости от уровня и формы помех и технических возможностей аппаратуры быстродействие, помехоустойчивость и точность, а также экономичность устройств связи с ВМ. При этом адрес объекта обычно содержится в форме псевдослучайного сигнала, а квантованные значения передаваемых параметров могут отображаться либо также определенной своей формой сигнала, либо временным сдвигом между псевдослучайными сигналами или псевдослучайным сигналом и его копией, либо более сложными формами сигналов [Л. 106].

Вопросы целесообразности и путей применения псевдослучайных сигналов в ТСС требуют значительных исследований и разработок.

Синтез некоторых преобразователей кодов. С целью иллюстрации простейших принципов логического синтеза и рассмотрения одной из наиболее распространенных групп преобразователей проведем синтез преобразователей двоично-десятичный код — код 2 из 5 и обратно [Л. 90]. В промышленной телемеханике эти преобразователи являются одними из самых распространенных. Анализ помехоустойчивости распространенных кодов с обнаружением ошибок показывает, что среди этих кодов при некоторых условиях код 2 из 5 является наилучшим [Л. 2, 32]. Кроме того, в цепях передачи таких кодов обнаруживаются также многие повреждения схем и каналов связи. Обнаружение ошибок просто реализуется для последовательных кодов с постоянным весом, к которым относится код 2 из 5, путем подсчета числа единиц. Известны также простые схемы обнаружения ошибок в параллельных кодах с постоянным весом [Л. 91]. Широко используются различные схемы для преобразования полных двоичных кодов в единичный нормальный (позиционный) код, которым, в частности, является код 1 из 10. Преобразование из двоично-десятичного кода в код 2 из 5 и обратно несложно, если воспользоваться промежуточным преобразованием в код 1 из 10. Однако реализация такого преобразования является громоздкой.

Ниже описаны более экономичные преобразователи, полученные с помощью сочетания методов теории релейных устройств и эвристических методов. На их экономичность существенно влияет успешное решение трех основных вопросов: выбор принципа преобразования (кодирования десятичных цифр в коде 2 из 5), выбор базисных элементов и оптимизация (в данном случае минимизация) переключательных функций. Важно иметь в виду, что кодирование десятичных цифр при преобразовании из двоичного кода в код 2 из 5 и обратно должно быть одинаковым. Принятые в литературе правила кодирования цифр 0—9 в коде 2 из 5 существенно различны. Наилучшим представляется кодирование, приведенное в [Л. 92] (табл. 5). Проведем оптимизацию числа элементов преоб-

разователя двоично-десятичного кода в код 2 из 5 для случая его реализации на базисных элементах И, ИЛИ, НЕ. По условиям таблицы в соответствии с общими правилами нахождения булевых функций запишем структурные формулы выходов данного преобразователя:

$$\left.\begin{aligned}
T &= \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \Phi;\\
W &= A\bar{B}\bar{C}\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}BCD + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \Phi;\\
X &= \bar{A}B\bar{C}\bar{D} + \bar{A}BC\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}BCD + \Phi;\\
Y &= \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}BC\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + \Phi;\\
Z &= \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}B\bar{C}D + A\bar{B}\bar{C}D + \Phi,
\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

$$\Phi = \frac{A\bar{B}C\bar{D}}{0} + \frac{A\bar{B}CD}{0} + \frac{AB\bar{C}\bar{D}}{0} + \frac{AB\bar{C}D}{0} + \frac{ABC\bar{D}}{0} + \frac{ABCD}{0}. \qquad (2)$$

В формуле (2) имеем так называемые условные слагаемые Запись $\frac{A\bar{B}C\bar{D}}{0}$ означает, что при синтезе может быть взято выраже-

Таблица 5

Способы кодирования цифр от 0 до 9

Десятичная цифра	Двоично-десятичный код	Двоичный код 2 из 5	Группа
	ABCD	*TWXYZ*	
1	0001	10001	I
2	0010	10010	
4	0100	10100	
8	1000	11000	
3	0011	00011	II
6	0110	00110	
5	0101	00101	
9	1001	01001	
7	0111	01100	III
0	0000	01010	IV

ние, стоящее над чертой или под чертой. При упрощении структурных формул (1) следует помнить, что булевые функции *T*, *W*, *X*, *Y* и *Z* выходов преобразователя определены только для 10 значений различных наборов аргументов. Произведем упрощение функций выходов, воспользовавшись для этого матрицами Карно. Условные слагаемые обозначим символом «—». На матрицах Карно условные слагаемые и булевые функции *T*, *W*, *X*, *Y* и *Z* изображаются в соответствии с рис. 21. Выполнив необходимые склеива-

ния членов по матрицам Карно, получим функции выходов преобразователя в следующем упрощенном виде:

$$\left.\begin{aligned} T &= A\bar{D} + B\bar{C}\bar{D} + \bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D;\\ W &= A + \bar{B}\bar{C}\bar{D} + BCD;\\ X &= B;\\ Y &= C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{D} + \bar{B}CD;\\ Z &= \bar{C}D + \bar{B}D. \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Реализация формул (3) на диодах потребует 42 элемента. Для аналогичных формул при другом кодировании десятичных цифр в коде 2 из 5 требуется больше диодов.

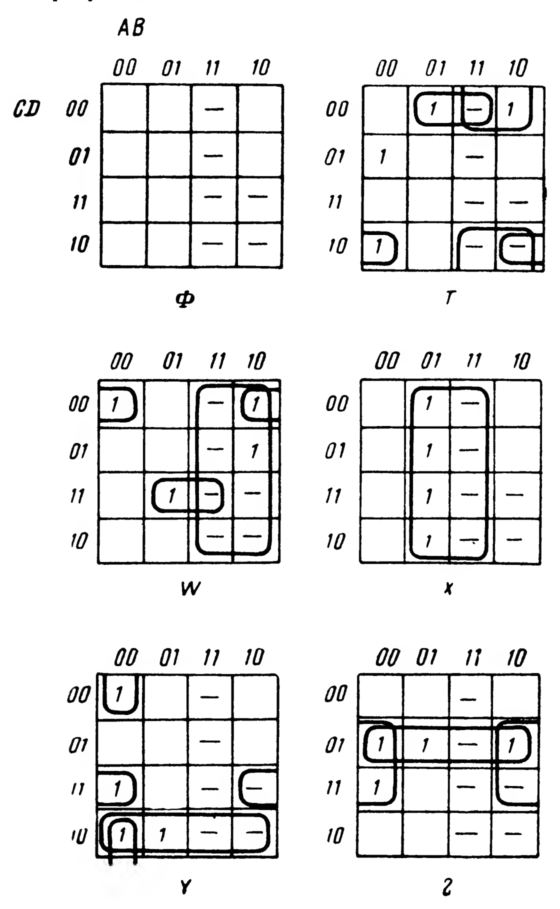


Рис. 21. Матрицы Карно условных слагаемых и функций выходов преобразователя двоично-десятичного кода в код 2 из 5.

Возможна, однако, еще более экономичная реализация рассматриваемого преобразователя. Предварительно напомним, что через m обозначено число единиц в двоичном коде.

Рассматривая таблицу, заметим следующее:

$$T = \begin{cases} 0, \text{ если } m \text{ — четное или } m = 0; \\ 1, \text{ если } m \text{ — нечетное, кроме набора III;} \end{cases}$$

$W=A$, кроме наборов III и IV, при которых $W=1$, $A=0$;
$X=B$;
$Y=C$, кроме набора III, при котором $Y=0$, $C=1$, а также набора IV, при котором $Y=1$, $C=0$;
$Z=D$, кроме набора *III*, при котором $Z=0$, $D=1$.

Эти условия работы преобразователя могут быть записаны следующей системой переключательных функций выходов преобразователя (здесь вместо набора $\bar{A}BCD$ можно записать BCD):

$$\left.\begin{aligned} T &= (A \oplus B \oplus C \oplus D) \triangle (BCD) = (A \oplus B \oplus C \oplus D)(\overline{BCD}); \\ W &= A + BCD + \bar{A}B\bar{C}\bar{D}; \\ X &= B; \\ Y &= C \triangle (BCD) + \bar{A}B\bar{C}\bar{D} = C(\overline{BCD}) + \bar{A}B\bar{C}\bar{D}; \\ Z &= D \triangle (BCD) = D(\overline{BCD}), \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

где $\oplus$ — символ операции сложения по модулю 2;
$\triangle$ — символ операции запрета.

В случае реализации этого варианта на потенциальных транзисторно-диодных схемах требуется 7 транзисторов (для операций НЕ) и 18 диодов. Этот вариант является самым экономичным.

Рассмотрим теперь построение преобразователей двоичного кода 2 из 5 в двоично-десятичный. Рассуждая аналогично с предыдущим примером, получим систему переключательных функций, реализация которой на элементах И, ИЛИ, НЕ приведена на рис. 22.

В рассмотренных нами преобразователях вход и выход параллельны. Для преобразования последовательного кода 2 из 5 в двоичный код можно применить последовательную логику.

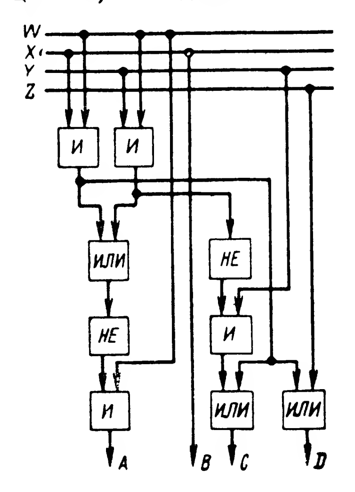


Рис. 22. Логическая схема параллельного преобразователя кода 2 из 5 в двоично-десятичный код.

Глава четвертая

ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЕ СЕТИ

14. Простые сети

При использовании индивидуальных каналов или линий связи для связи каждого КП с ПУ образуются простые телемеханические сети. В этих сетях в основном выполняются группы специфических телемеханических операций, связанных с разделением сигналов и избиранием объектов.

Наиболее распространенными в рассматриваемых ТСС являются временное и комбинационное разделение, а также комбинирование временного разделения с частотным и комбинационным. Широкое применение находят производные методы избирания. Так, например, при временном разделении элементов кодов различные служебные связи (запрос на передачу, обратные связи для повышения достоверности) осуществляются с помощью частотного разделения. В ряде случаев используется параллельная передача импульсов по индивидуальным линиям связи с последующим комбинированием этих импульсов, т. е. разделительно-комбинационное разделение и разделительно-комбинационно-временное разделение [Л. 13, 88, 89].

Особенности построения телемеханической сети при временном разделении связаны со способами синхронизации распределителей, способами уплотнения и разуплотнения, а также спецификой передаваемых сообщений. В современных ТСС синхронизация в основном осуществляется с ПУ, а сеть питания для синхронизации используется редко. Весьма широко уплотнение и разуплотнение передачи при временном разделении осуществляется с помощью регистров сдвига, тактовая частота продвижения которых синхронна для КП и ПУ. В этом случае обычных для передачи с распределителями схем совпадений и буферной памяти не требуется, так как передаваемое сообщение запоминается в самом регистре, а последовательное подключение элементов сообщения к линии связи осуществляется за счет сдвига кода сообщения в регистре.

Для избирания объектов находят большое применение многоступенчатые схемы. Рассмотрим особенности построения двухступенчатой схемы ручного ввода данных, где вначале избирается десятичный разряд, представляющий каждую цифру сообщения при вводе, а затем двоичные разряды или позиции единичного кода, представляющие эту цифру для передачи по линии связи [Л. 8, 79]. В состав схемы входят система десятипозиционных переключателей (наборное поле), коммутатор возбуждения $К_{возб}$, образуемый счетчиком *СЧВ* и дешифратором *ДШВ*, диодный шифратор *Ш*, коммутатор считывания $К_{счит}$ (*СЧИ* и *ДШИ*) и схемы совпадения *ВС* (рис. 23). В зависимости от положения переключателей на входы диодного шифратора всегда поступает сигнал, соответствующий одной из десятичных цифр, набранных на наборном поле. На выходах шифратора возникает соответственно параллельный двоично-десятичный код этой цифры. С помощью коммутатора считывания параллельный двоично-десятичный код превращается в последовательный и подается в линию связи *ЛИ*.

Вариант многоступенчатой структуры избирания датчиков, близкий к описанному в [Л. 88], приведен на рис. 24. Здесь старшие разряды кода адреса по линиям связи $ЛСА_{\text{I}}$ поступают на дешифратор $ДШ_{\text{I}}$ первой ступени селекции, выходами которого через линии связи $ЛСС_{\text{I}}$ избирается один из дешифраторов $ДШ_{\text{II}}$ второй ступени. На кодовые входы дешифраторов второй ступени подаются следующие разряды кода адреса через линии связи $ЛСА_{\text{II}}$. Далее аналогично избирается один из дешифраторов $ДШ_{\text{III}}$ третьей сту-

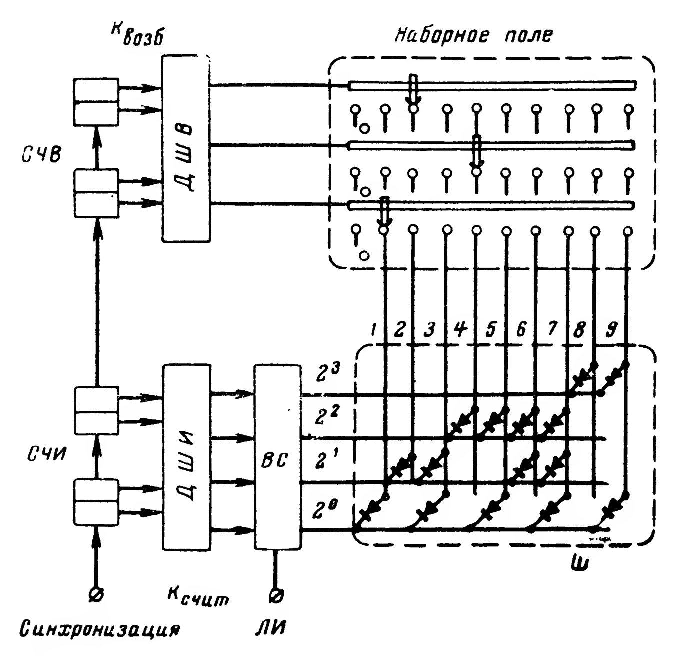


Рис. 23. Двухступенчатая схема избирания для ручного ввода данных.

пени с помощью сигналов, подаваемых в $ЛСС_{\text{II}}$, а младшие разряды кода адреса в линиях $ЛСА_{\text{III}}$ избирают нужный датчик *Д*.

Рассмотрим в заключение принцип комбинированного избирания датчика и дискретного измерения значения параметра от датчика [Л. 93]. С точки зрения избирания этот принцип характерен тем, что здесь одновременно и параллельно избираются несколько объектов, а также избирается значение измеряемой величины. Сущность метода циркулирующих кодовых разверток (конвейерного принципа сбора информации) [Л. 37] поясняет рис. 25. Цифрами 2^0—2^n обозначены шины *ЛБР*, составляющие сеть, по которой циркулируют двоичные числа (в виде электрических напряжений импульсной формы). Кодовые развертки управляют генераторами компенсирующего напряжения *П*. Сигналы датчиков *Д* через коммутаторы *К* подключаются к нуль-органам *НО*, где они сравни-

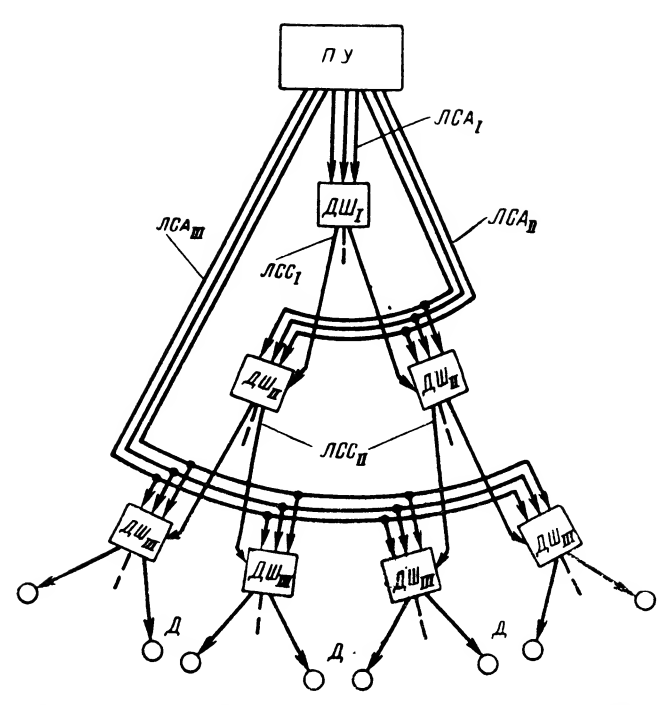


Рис. 24. Блок-схема многоступенчатой структуры избирания рассредоточенных датчиков.

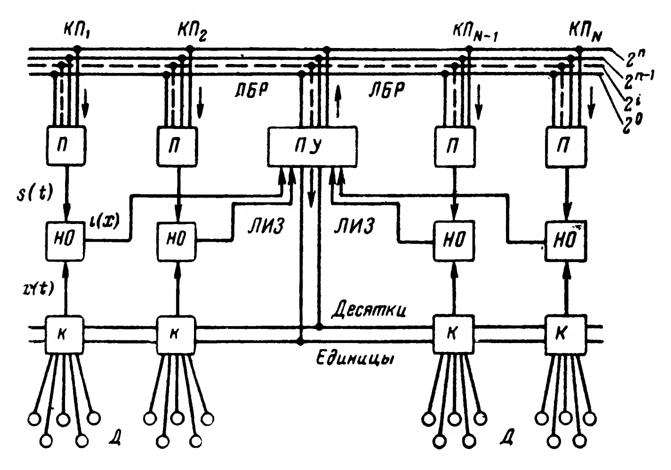


Рис. 25. Блок-схема системы централизованного контроля «Центротехника-3».

ваются с компенсирующим напряжением $s(t)$. В момент равенства указанных сигналов генерируется специальный импульс $i(x)$, передаваемый по линии измерения *ЛИЗ* на *ПУ*. Коммутаторы *К* управляются десятичными кодами. В системе применяется способ измерения не абсолютной величины сигнала датчика, а ее отклонения от заранее выбранного значения (нормы). Вследствие этого упрощаются сети разверток при использовании сравнительно несложной аппаратуры и высокой точности.

Такая информационная сеть напоминает электрическую сеть предприятия, к которой может подключиться большое число потребителей практически в любом месте. Для коротких расстояний и при использовании вновь прокладываемых кабелей некоторое увеличение затрат на линии связи в рассматриваемых схемах приводит к упрощению аппаратуры и повышению надежности синхронизации и синфазирования, а также повышает быстродействие, гибкость вызова, удобство изменения числа вызываемых объектов, простоту настройки и т. д.

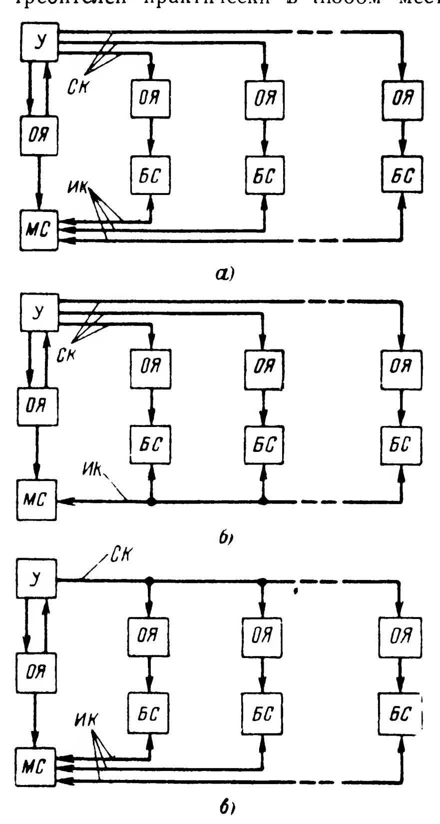


Рис. 26. Структуры схем избирания телемеханических пунктов.

а — индивидуальная (параллельная); *б* — адресная (последовательно-параллельная); *в* — конвейерная (параллельно-последовательная); *У* — управление; *ОЯ* — опрос входных и выходных ячеек; *БС* и *МС* — буферные схемы памяти и совпадений; *СК* — селекторные каналы; *ИК* — информационные каналы.

15. Комбинированные сети

При подключении телемеханических пунктов, работающих в режимах циклического или программного опроса, к общей линии связи сложной структуры с целью ее эффективного использования могут применяться схемы с различными структурами избирания (селекции) пунктов. Из них выделяются несколько основных видов структур, которые назовем соответственно адресными, конвейерными, цепочечными и программными структурами избирания пунктов [Л. 52]. Для дальнейшего рассмотрения этих структур следует уточнить некоторые термины, используемые ниже. Телемеханическим (дистанционным) каналом назовем цепочку схемных узлов и линию (канал) связи,

служащую для передачи одного импульса. В простейшем случае дистанционным каналом может быть просто линия связи с линейными узлами, а в более сложных случаях телемеханический канал образуется, например, с помощью уплотнения этой линии известными способами разделения сигналов. Телемеханические каналы, выполняющие функции избирания пункта или управления узлами временного разделения сигналов между объектами этого пункта и ПУ (точнее, узловым пунктом, так как узловой пункт может быть промежуточным, необслуживаемым), назовем селекторными каналами. Телемеханические каналы, служащие для непосредственной передачи информационных импульсов, назовем информационными каналами. Информационными импульсами являются, например, импульсы от датчиков, преобразователей, пультов управления или регистров вычислительной машины и т. д.

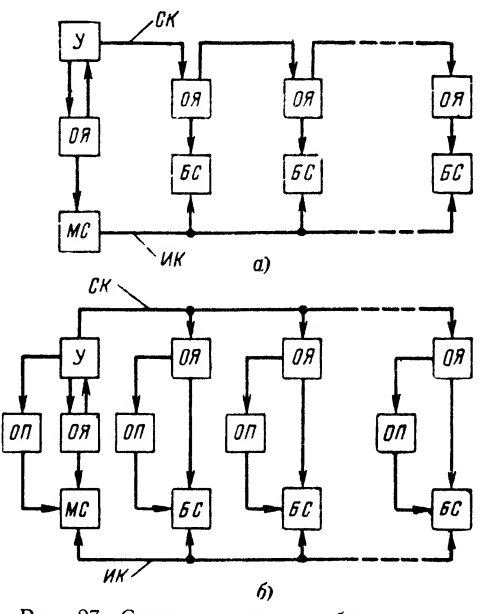


Рис. 27. Структуры схем избирания телемеханических пунктов.

а — цепочечная (последовательная или типа «рассредоточенный распределитель»); *б* — матричная; *ОЯ* — опрос ячеек; *ОП* — опрос пунктов, *БС* и *МС* — буферные схемы памяти и совпадений; *СК* и *ИК* — селекторные и информационные каналы.

Рассмотрим теперь особенности указанных выше структур. В случае применения адресной (последовательно-параллельной) структуры вначале осуществляется вызов КП по индивидуальным селекторным каналам, а затем происходит передача информации между одним или несколькими объектами выбранного пункта и узловым пунктом по общему информационному каналу (рис. 26,*б*).

В конвейерных (параллельно-последовательных) структурах одновременно, циклически или программно, вызывается несколько объектов различных КП, а передача информационных сигналов происходит одновременно со всех или на все КП. Контролируемые пункты подключены к общему селекторному каналу параллельно, а информационные сигналы передаются по индивидуальным информационным каналам (рис. 26,*в*).

В цепочечных (последовательных) структурах, иначе структурах типа «рассредоточенный распределитель», КП с помощью индивидуальных селекторных каналов последовательно подключаются к общему информационному каналу путем последовательной схемной или логической коммутации (рис. 27,*а*). Примером про-

граммной структуры избирания КП являются структуры, в которых емкость распределителя каждого КП равна суммарной емкости всей системы и при непрерывной работе распределителей часть шагов выделяется для одного КП, другая часть — для следующего КП и т. д. При этом остальные шаги распределителей являются холостыми [Л. 11].

Сравнивая известные реализации телемеханических устройств, построенных по рассмотренным структурам, можно отметить, что адресные структуры характерны относительной сложностью аппаратуры, конвейерные — многопроводностью, а цепочечные — ненадежностью.

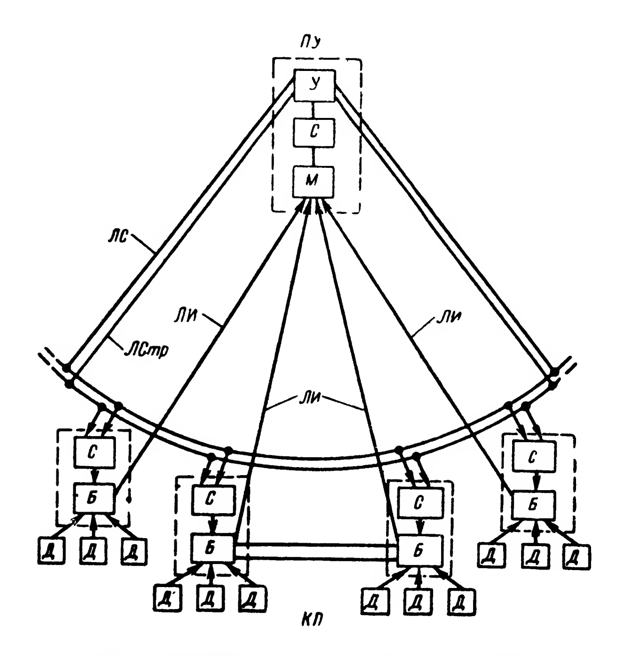


Рис. 28. Конвейерная сеть избирания объектов и пунктов.

В матричных структурах [Л. 52] (рис. 27,*б*) вначале избирается группа объектов (ячеек) по одному в каждом пункте, а затем обегаются пункты. Иначе говоря, эта структура некоторым образом сочетает в себе свойства конвейерных и цепочечных структур типа рассредоточенный распределитель.

Адресные структуры избирания пунктов широко распространены и описаны в ряде работ [Л. 2, 9, 12, 44, 45, 47 и др.].

Конвейерная структура была описана в § 14. Другой вариант конвейерной структуры приведен на рис. 28 [Л. 87]. Здесь сигналы в виде импульсов от датчиков *Д* в случайные моменты времени поступают на буферные запоминающие узлы *Б*. С этих узлов в моменты стробтактов, посылаемых от *ПУ* по линиям *ЛСтр*, информа-

ция считывается соответствующими выходами дешифраторов (селекторов) *С* одновременно на всех *КП*. Информация с *КП* на *ПУ* (и обратно) передается по индивидуальным для каждого *КП* информационными линиями *ЛИ* и на *ПУ* запоминается во входной матрице *М*. Отсюда, циклически или по программе, информация считывается к *ВМ*, на мнемосхему и другие устройства. Селекторные линии связи *ЛС*, по которым передаются кодовые развертки от блока управления *У*, могут иметь любую структуру, например кольцевую, как показано на рисунке.

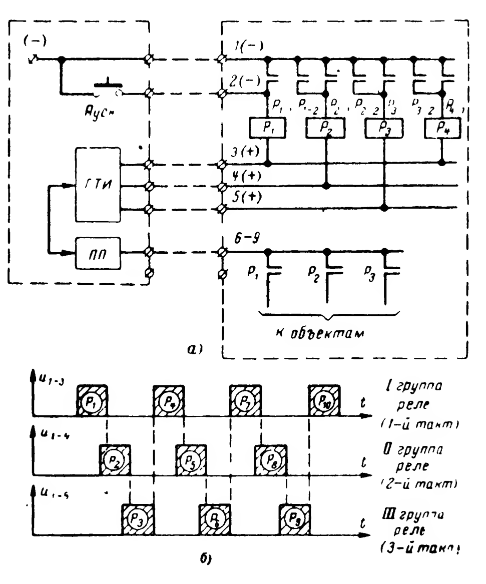


Рис. 29. Схема трехтактного рассредоточенного распределителя.

а — принципиальная схема; *б* — диаграмма тактовых импульсов; *ГТИ* — генератор тактовых импульсов; *ПП* — приемо-передатчик.

Рассмотрим пример цепочечной структуры, которая представляет собой трехтактный малопроводный рассредоточенный распределитель. Он работает следующим образом [Л. 94]. Центральный пункт связан с рассредоточенными объектами девятипроводной магистралью. Провода *6—9* этой магистрали (рис. 29,*а*) соединяют датчики или исполнительные механизмы со входами измерительных и управляющих цепей центрального пункта. На провода *3, 4* и *5* от генератора тактовых импульсов *ГТИ* периодически подается напряжение в соответствии с временной диаграммой рис. 29,*б*. Реле P_1 сработает в момент времени $t_{вкл}$, если нажата кнопка *Пуск*, и при наличии на проводе *3* напряжения U_{1-3}. После срабатывания это реле контактом P_{1-1} самоблокируется на провод *1*, а контактом P_{1-2} подготавливает к включению реле P_2, подключая его также к проводу *1*. Реле P_2 включится, когда напряжение питания будет подано на провод *4*. Через контакт P_{2-1} реле P_2 заблокируется на провод *1*, а контакт P_{2-2} подготовит к включению реле P_3. Подобный цикл поочередного включения реле обычно продолжается до тех пор, пока не сработают все реле. Применение трехтактной схемы дало возможность выполнить коммутацию с перекрытием во времени, что позволило упростить схему и сделать ее более устойчивой по временным параметрам. Опыт применения подобной системы на промышленном предприятии показывает, что расход кабеля при такой системе сокращается примерно в 4 раза по сравнению с радиальной при высокой аппаратурной надежности и помехоустойчивости распределителя.

16. Сложные сети

При введении в сеть телемеханики избыточности или при сложных взаимосвязях между пунктами, т. е. когда в системе для передачи сообщения от одного или к одному пункту существует несколько путей, образуются сложные телемеханические сети. Простейшей избыточной сетью является кольцевая сеть [Л. 37, 50, 69, 87]. Применение таких сетей в условиях ПП часто может быть достаточно эффективным. Более сложным видом избыточности является дублирование связей, приближающееся к полному графу. На

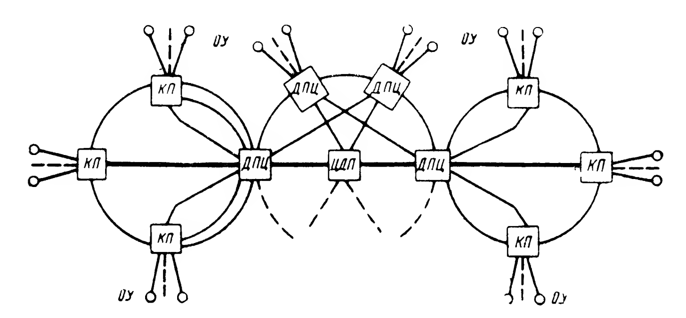


Рис. 30. Сложная телемеханическая сеть с избыточностью.

ДПЦ — диспетчерский пункт цеха; *ЦДП* — центральный диспетчерский пункт; *КП* — контролируемый пункт; *ОУ* — объектные устройства.

рис. 30 приведен пример сети телемеханики с избыточностью, где селекторные каналы связи *ДПЦ—КП* являются кольцевыми, а информационные — радиальными. Кроме того, здесь *ДПЦ* между собой соединены в кольцо и дополнительно — каналами через один. В этой схеме связь *ДПЦ—ЦДП* может осуществляться по всем возможным прямым и дублирующим обходным путям.

В случае взаимосвязей между рассредоточенными объектами в виде полного графа или близких к нему возможны следующие способы избирания связей: через индивидуальные для каждой взаимосвязи линии связи; посредством индивидуальных частотных каналов; через центральную станцию, которая коммутирует взаимосвязи циклическим обеганием или по адресному принципу; с помощью синхронно-синфазной рассредоточенной коммутации взаимосвязей на передающем и приемном пунктах посредством распределителей; на основе асинхронно-адресного принципа.

Остановимся кратко на особенностях асинхронно-адресного принципа связи, который в последнее время начинает находить применение в телемеханике [Л. 2, 53]. Для передачи сообщений в асинхронно-адресных системах непрерывный сигнал дискретизируется во времени и модулируется. В каждый дискретизированный момент времени информация об амплитуде сигнала передается по общему каналу связи с помощью сложных импульсных адресных сигналов, различных для разных источников информации. Адресный сигнал может реализоваться в виде частотно-временной матрицы или псев-

дослучайной кодовой последовательности. Определенные комбинации частот и временного положения субимпульсов в частотно-временных системах или формы последовательностей в системах с псевдослучайной модуляцией, служащие для передачи «единиц» и «нулей» передаваемого сигнала после квантования его по амплитуде, вызовут срабатывание того приемника, которому данное сообщение адресовано. Далее осуществляется демодуляция. Применение асинхронно-адресной передачи представляет интерес не только при сложных взаимосвязях между объектами, а также при взаимосвязях КП—ПУ. В этом случае существенно упрощаются устройства ПУ (см. § 18) и уменьшается потребность в каналах связи. Недостатком таких систем является большой уровень внутрисистемных помех.

Глава пятая

ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ

17. Блочные структуры

Комплексирование передачи различных сообщений по каналу связи. При необходимости передачи в одной системе сообщений ТС, ТУ, ТИ и т. д. возникают задачи наиболее экономного использования распределителей, дешифраторов и других блоков, а также каналов связи. В случае коротких расстояний передачи, больших емкостей на каждом пункте и временного разделения сигналов возможно многократное использование выходов распределителей, регистров, дешифраторов-разделителей в сочетании с индивидуальными линиями связи для каждого вида сообщений. В этом случае на каждом шаге распределителя (дешифратора) сообщения (импульсы) передаются параллельно и одновременно [Л. 8, 61, 84, 87]. При больших расстояниях или необходимости упростить ПУ применяются последовательные схемы комплексирования передачи. На рис. 31 приведена блочная структура одного из КП комплексной телемеханической системы с радиальной структурой линий связи [Л. 20]. Здесь используется временное разделение с помощью распределителей, синхронизируемых с ПУ (на рисунке не показано). Комплексирование передачи *ТС, ТИТ, ТИИ* и других сообщений при алгоритмической структуре, рассматриваемой в следующем параграфе, осуществляется следующим образом. В случае запроса информации с ПУ через блок *ПР* блок *БВР* устанавливается в соответствии с адресом вызываемого объекта. Если вызывается *ТС*, отпираются переключающие схемы $КЛ_1$ и информация с контактов датчиков *ТС* $Д_{тс}$ через блок *ПЕР* поступает в *ЛС*. При изменении состояния объектов блок *ВИС* устанавливает блок *БВР* на передачу *ТС*. Импульсы количества от датчиков *ТИИ* подсчитываются в блоках *СЧ*. Съем кода с последних производится последовательно при помощи специального распределителя *РОС*, импульсы для движения которого поступают с ПУ. Для хранения кодов *ТИИ* на время, необходимое для их передачи на ПУ и получения подтверждения о приеме по обратному каналу, используется блок *ПОС*. При передаче *ТИИ* по командам от блока *БВР* отпираются схемы $КЛ_2$, и код с блоков *СЧ* поступает в блок *ПОС*, а затем через

схемы $КЛ_3$ — на блок *ПЕР*. Для передачи кодов производственно-статистической кодовой информации от блока $Д_{п.с.и}$ в соответствующее положение устанавливается блок *БВР* и через схемы $КЛ_4$ код поступает на блок *ПОС*, с которого через блок $КЛ_3$ поступает на блок *ПЕР*. Прием команд ТУ двухпозиционными объектами и кодов команд телекоррекции осуществляется на блок *ПОС* через

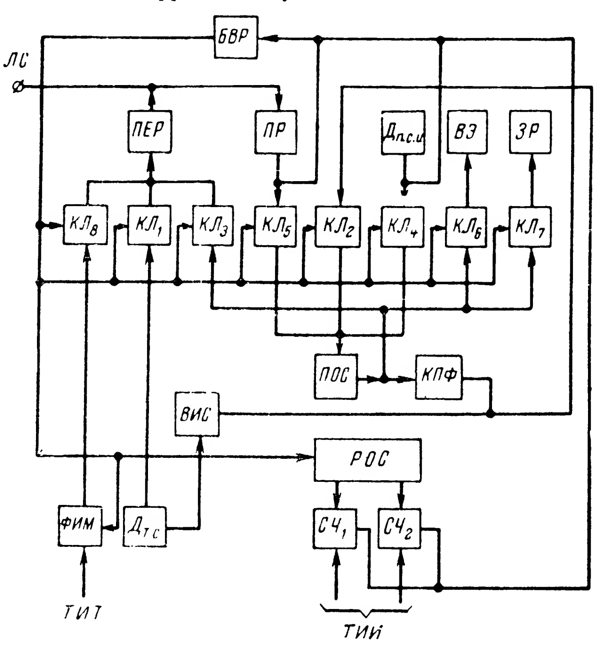


Рис. 31. Блочная структура КП комплексной телемеханической системы.

ПР — блок приема информации с ПУ; *БВР* — блок выбора рода информации; $КЛ_1$—$КЛ_8$ — переключающие схемы; $Д_{тс}$ — датчики ТС; *ПЕР* — блок передачи; *ВИС* — блок обнаружения изменения состояния объектов; *СЧ* — счетчики-интеграторы; *РОС* — распределитель опроса счетчиков-интеграторов; *ПОС* — триггерная память при передаче с обратной связью; $Д_{п.с.и}$ — датчики производственно-статистической информации; *ВЭ* — выходные элементы ТУ; *ЗР* — задатчики уставок регуляторов; *КПФ* — блок контроля правильности функционирования; *ФИМ* — фазо-импульсные модуляторы.

переключающие схемы $КЛ_5$. С выхода блока *ПОС* команды ТУ через схемы $КЛ_6$ поступают на выходные элементы *ВЭ*. Коды телекоррекции через схемы $КЛ_7$ поступают на задатчики уставок регуляторов *ЗР*.

При поступлении заявки с ПУ на передачу какой-либо группы ТИТ блок *БВР* выдает команду на блок *ФИМ*, содержащий фазо-импульсные модуляторы, с выхода которых через схемы $КЛ_8$ и блок *ПЕР* информация передается в линию связи *ЛС*.

Контроль за правильностью функционирования основных блоков устройства производится блоком *КПФ*. При обнаружении не-

исправностей выходной сигнал с блока *КПФ* блокирует работу блока *БВР*.

Многократное использование центральных устройств. Рассмотрим вариант применения цифрового автоматического компенсатора, используемого для преобразования аналоговой информации в код для ВМ, в качестве приемника телемеханической передачи кодовой информации [Л. 95]. В этой схеме (рис. 32) аналоговый сигнал (ток или напряжение) подается на вход нуль-органа *НО* автокомпенсатора, а передатчик кодовой информации подключается через линии связи к переключателю *ПР* и генератору тактовых импульсов *ГТИ*. В каждом такте уравновешивания на выходе нуль-органа формируется импульс, являющийся одним из компонентов последовательного цифрового кода. В поразрядных автокомпенсаторах это последовательный двоичный или двоично-десятичный код, в развертывающих — число-импульсный код. Вся остальная часть автокомпенсаторов (не считая собственно уравновешивающей цепи *УР*) выполняет функции развертывающего регистра. Она преобразует последовательный код, снимаемый с выхода нуль-органа, в параллельный код и состоит из генератора тактовых импульсов, распределителя импульсов *РИ* и выходного регистра *ВР*. Именно эта часть схемы автокомпенсатора может использоваться в качестве приемника последовательных кодов. Для этого достаточно снабдить распределитель импульсов переключателем *ПР* и синхронизировать работу *ГТИ* с работой передающих устройств телемеханического устройства. Принятый код подается затем на вход регистра *ВМ*. Кроме того, иногда оказывается возможным последовательный код подавать прямо на вход нуль-органа компенсатора. Нуль-орган в этом случае будет работать только как формирователь импульсов.

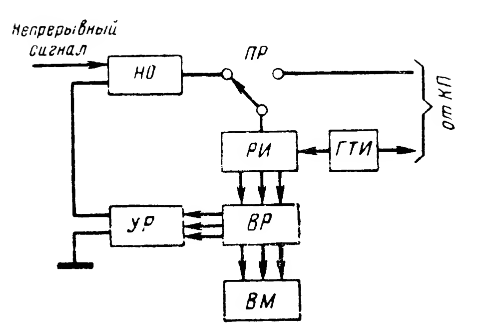


Рис. 32 Блок-схема использования цифрового автокомпенсатора как телеприемника кодов.

На рис. 33,*а* приведена блочно-алгоритмическая структура современной телемеханической системы для передачи информации в пределах промышленного предприятия [Л. 3]. Временная диаграмма работы этого устройства при разделении во времени передач различных сообщений изображена на рис. 33,*б*. Вертикальными линиями условно обозначены шаги распределителя *КП* и *ПУ*. При разделении во времени передач различных сообщений преимущество отдается передаче информации *ТС* и *ТУ*, которая передается спорадически по мере ее возникновения. Если этой информации нет, то производится вызов информации *ТИТ* (зона *А*) или *ПСИ* (зона *Б*). Управление передачей известительной и командной информации осуществляется с пункта управления посредством блока *ВЗ* выявления заявок на передачу информации. В этот блок поступают

заявки с контролируемых пунктов $КП_1$—$КП_n$, от *ВМ*, с пульта диспетчера *ПД*, а также адреса передаваемой информации с приемников $Пр_1$ и $Пр_2$. Блок *ВЗ* управляет передачей известительной информации с *КП*, задавая вид и адрес сообщения путем посылки соответствующих служебных команд через передатчик *Пер*. Заявки на передачу телесигнализации обладают преимуществом перед другими видами информации. Телеуправление двухпозиционными объектами выполняется во вторую очередь. Информация *ТИТ* передается либо циклически по программе, заложенной в блоке *ВЗ*, либо по вызову от *ЦВМ*. Телеизмерительная информация, как правило,

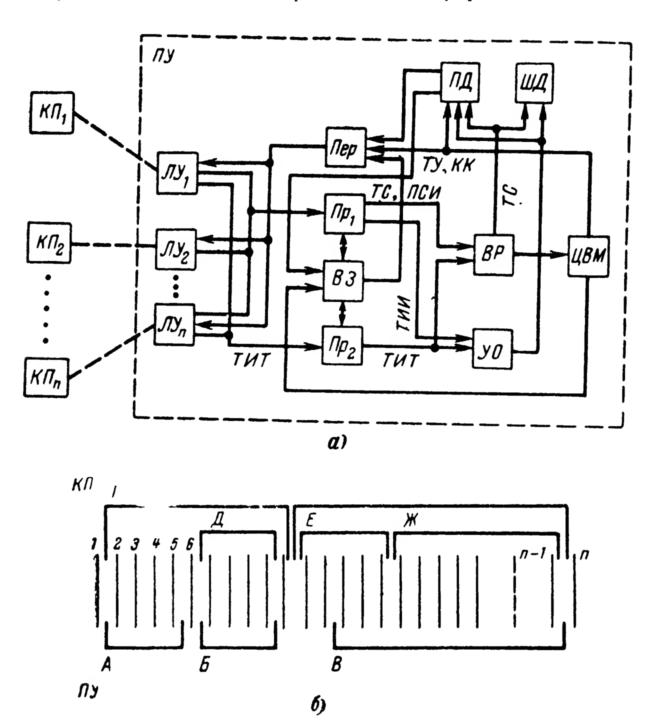


Рис. 33. Комплексная система телемеханики.

а — структурная схема системы; *КП* — контролируемый пункт; *ПУ* — пункт управления; *ПСИ* — производственно-статистическая информация; *ТИИ* — телеизмерения интегральных значений параметров; *ТИТ* — телеизмерения текущих значений параметров; *ТУ* — телеуправление; *КК* — кодовые команды; *ЛУ* — линейные узлы; *Пер*, *Пр* — передатчик и приемники информации; *ВЗ* — блок выявления заявок; *ВР* — выходной регистр; *УО* — устройство обработки информации; *ЦВМ* — цифровая вычислительная машина; *ПД* — пульт диспетчера; *ЩД* — щит диспетчера; *б* — временная диаграмма разделения во времени обмена информацией в телемеханической системе; *А* — запрос *ПУ* на передачу *ТИТ*; *Б* — передача кода вида информации; *В* — передача команд *ТУ* и телекоррекции (в зависимости от выбранного вида информации); *Г* — передача номера *КП*, где произошло изменение; *Д* — передача кода группы подключившихся *ТИТ* (при передаче по вызову); *Е* — передача кода вида информации (группы *ТС*, признака *ПСИ*) и *Ж* — передача сигналов *ТС* и кодов *ПСИ* (при адресной передаче) или передача значений *ГИИ* (при передаче по вызову).

разветвляется к *ЦВМ* и на пульт и щит диспетчера *ПД* и *ШД* через устройства обработки информации *УО* (масштабирования, сигнализации и регистрации отклонений и т. п.). Поэтому для уменьшения задержки в передаче телеизмерений текущих значений параметров при радиальной структуре канала связи целесообразно на *ПУ* иметь два приемника информации: один $Пр_1$ — для приема кодов телесигнализации, телеизмерений интегральных значений параметров, кодовой известительной информации и второй $Пр_2$ — для приема телеизмерений текущих значений параметров. При аналоговой передаче последних $Пр_2$ производит также аналого-цифровое преобразование измеренных величин. Наличие двух приемников дает возможность реализовать параллельную передачу текущих значений параметров и одного из других видов информации с разных *КП*.

18. Алгоритмы телемеханической связи

Общая характеристика. В простейшем случае осуществления телемеханической связи между одним источником и одним приемником возможны, как уже указывалось в § 7, два основных алгоритма связи — программный и адресный. В случае программных передач приемник запрашивает определенное сообщение, а при адресной передаче источник информации сам передает сообщение по мере возникновения. Такие алгоритмы характерны также для телемеханической передачи между множеством объектов, если обмен информацией не централизован. В централизованных системах применяют комбинированные программно-адресные алгоритмы передачи и соответствующие структуры ТСС, описанные в § 17. Выбор той или иной алгоритмической структуры определяется конкретными условиями по интенсивности и характеру потоков информации, требованиями по достоверности и задержкам информации, особенностями приемников информации и т. д. Так, например, в [Л. 47] указывается на целесообразность циклической передачи в системах железнодорожной телемеханики при электрической централизации на станциях и в [Л. 20] — комбинированной программно-адресной передачи в телемеханической системе для обмена информацией между ВМ и объектами. В некоторых случаях применяют упрощенную асинхронно-адресную передачу, например при ручном вводе данных в ВМ от источников малой интенсивности [Л. 5]. Если при такой передаче сообщения кодировать так, чтобы при наложении двух и более сообщений от различных источников обнаруживалась. ошибка (например, с помощью кодов с постоянным весом), а также предусмотреть обратную связь и возможность повторной передачи, то телемеханическое устройство обеспечивает достаточную достоверность и скорость передачи, а схемы существенно упрощаются. В централизованных системах, кроме алгоритмов связи между источниками и приемниками, значительное место занимают алгоритмы связи центров (обегающих устройств, ВМ и т. д.) с линиями связи.

Алгоритмические связи в централизованных системах существенно различны для непрерывных и прерывных (импульсных) сигналов. Особенности централизованных связей при непрерывных сигналах подробно рассмотрены в ряде работ и мы на них останавливаться не будем.

Передача импульсных сигналов. Рассмотрим специфику связей информационно-управляющей вычислительной машины через каналы связи с импульсными источниками информации. В этом случае возможны следующие варианты алгоритмов связи.

При высокой частоте опроса входной линии, т. е. при $t_{опр} < t_{имп}$ (рис. 34,*а, б*) ВМ должна в каждом такте опроса осуществлять сравнение результатов двух (или более) смежных тактов и по ним решать вопрос о состоянии входной линии. При этом возможны три исхода: нет изменений, есть переход 1⟶0 или есть пе-

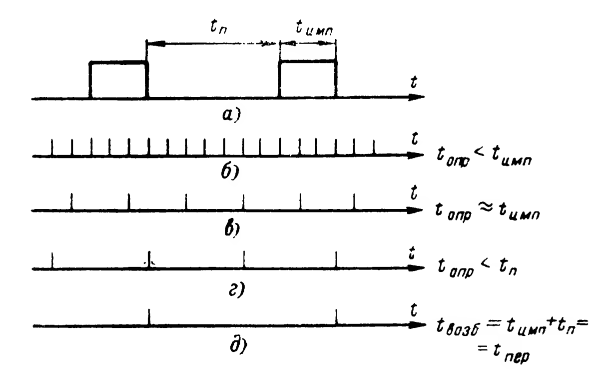


Рис. 34. Временные соотношения входных импульсов и вариантов периодов опроса при централизованных связях.

$t_п$, $t_{имп}$, $t_{опр}$, $t_{возб}$, $t_{пер}$ — длительность паузы, импульса, периода опроса, интервала между смежными прерываниями и период следования входных импульсов соответственно.

реход 0⟶1. На рис. 35,*а* приведена логическая схема обнаружения перехода 1⟶0. После обнаружения перехода память *П* устанавливается в нулевое состояние. Для повышения помехоустойчивости связи сравниваться могут результаты не двух смежных тактов опроса, а предыдущее состояние входной линии, хранящееся в вычислительной машине, и результат *m* последующих тактов опроса, выбранный по биномиальному принципу *n* из *m* [Л. 96]. В рассмотренном алгоритме практически все операции для реализации связи можно поручить информационно-управляющей вычислительной машине и при этом обеспечить высокую точность и достоверность связи. Если выбрать период опроса $t_{опр}$ приблизительно равным длительности входного импульса $t_{имп}$ (рис. 34,*а*, *в* и 35,*б*), то связь можно осуществить без дополнительных буферных устройств [Л. 97]. Однако при этом точность и достоверность связи падают. Описанные способы требуют значительной загрузки информационно-управляющей вычислительной машины.

В случае ввода импульсных сигналов, для которых допустима некоторая задержка (например, интегрально-импульсных сигналов от датчиков расхода), предусматриваются дополнительные буферные устройства (рис. 35,*в*), а интервал опроса $t_{опр}$ делается меньшим

длительности паузы $t_п$ (рис. 34,*а, г*). При этом алгоритме связи информация о наличии импульса на входной линии вводится в управляющую машину после окончания действия этого импульса в момент ближайшего такта опроса. Сброс памяти *П* можно осуществить после приема этого импульса информационно-управляющей машиной [Л. 76, 77].

Еще большей эффективности работы управляющей машины с линиями связи можно достигнуть в случае применения прерывания программы для ввода каждого импульса (рис. 34,*а, д*).

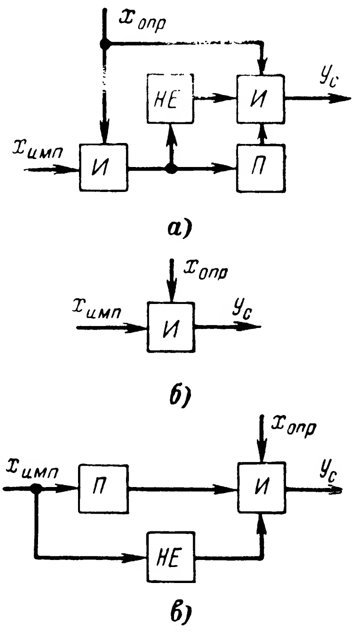


Рис. 35. Логические схемы вариантов ввода импульсов с линий связи в управляющие машины.

П — память; *И*, *НЕ* — логические операции; $x_{опр}$, $x_{имп}$, $y_с$ — импульсы опроса, входные и выходные соответственно.

Передача массивов информации. Рассмотрим вначале принципы алгоритмических связей управляющей машины с телеграфными аппаратами, служащими для ручного ввода массивов данных с производственных участков [Л. 98]. Информация этим устройством вводится (выводится) в виде цифробуквенных кодограмм, содержащих практически любые сообщения. Управление аппаратом осуществляется от ВМ. Если оператор желает передать данные в ВМ, он производит вызов ВМ с местного пульта; ВМ анализирует вызов и, если ее режим работы допускает прием данных по каналу связи, дает разрешение на передачу данных. Оператор может передавать сообщение или вручную, или запустив на трансмиттер заранее заготовленную перфоленту. После окончания сеанса передачи оператор нажимает кнопку «Отбой». При необходимости передачи данных из ВМ последняя анализирует состояние аппарата, обеспечивает включение, передачу данных и выключение без участия оператора. В настоящее время рядом организаций СССР разрабатываются агрегатная система средств вычислительной техники (АСВТ) и комплекс технических средств локальных информационно-управляющих систем (КТС — ЛИУС); АСВТ и КТС ЛИУС призваны образовать единый и полный комплекс средств.

Рассмотрим кратко некоторые особенности алгоритмических структур внутрисистемных связей групп функциональных устройств (источников и приемников информации) в этих системах [Л. 99—100].

В АСВТ приняты три типа унифицированных внутрисистемных связей: связи первого ранга, предназначенные для осуществления обмена информацией между процессором и главной памятью; связи второго ранга, предназначенные для осуществления обмена ин-

формацией между процессором и устройствами ввода-вывода (УВВ); связи третьего ранга, предназначенные для обмена информацией между внешними устройствами, удаленными на значительные расстояния.

Связи первого ранга отличаются более интенсивным обменом информацией параллельными посылками. Предусматриваются два типа сопряжения первого ранга; сопряжение типа 1А, предназначенное для подсоединения специализированного процессора к устройству связи первого ранга (УС-1), выполняющему роль центрального узла передачи информации; сопряжение типа 1Б, предназначенное для непосредственного подсоединения к спецпроцессору устройств главной памяти, а также для подключения главной памяти к устройству связи УС-1.

Связи второго ранга делятся на: сопряжение типа 2А — для подсоединения УВВ (имеющих выход на эти сопряжения) к вычислительному комплексу по магистральному принципу; сопряжение типа 2В — для подключения УВВ (имеющих выход на это сопряжение) к вычислительному комплексу через устройства межранговой связи; сопряжения типов 2Б, 2Г и 2Д, используемые в КТС — ЛИУС.

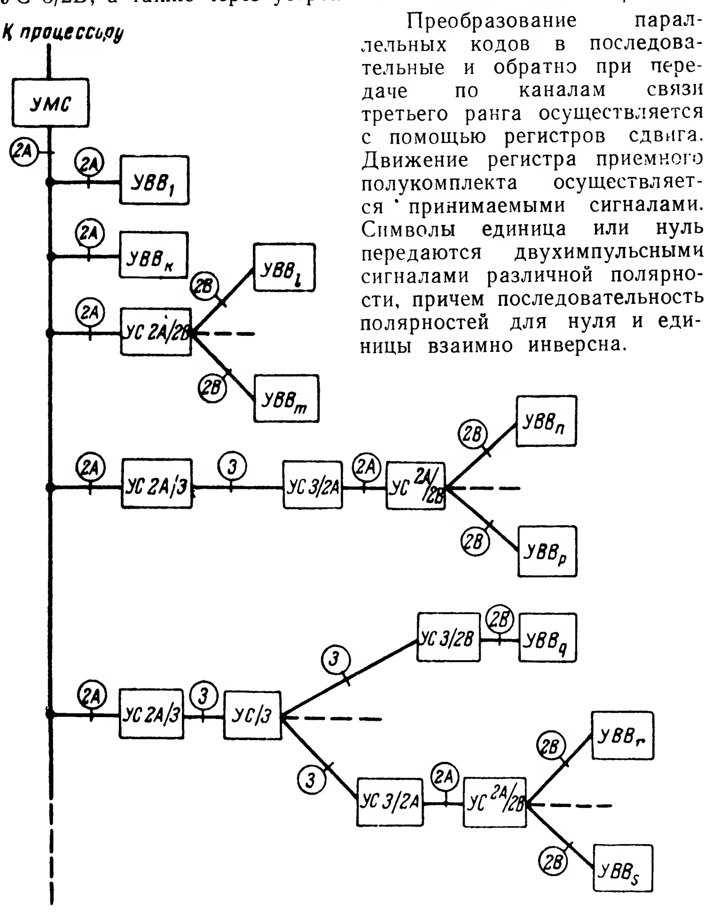
Обмен информацией по алгоритмам связей второго ранга производится асинхронно по принципу «запрос — ответ» с помощью параллельно-последовательных посылок. Запросы на связи первого и второго ранга обслуживаются по приоритетному принципу. С целью осуществления контроля по паритету предусматривается один контрольный разряд.

На сопряжение типа 2А можно непосредственно подсоединить до 16 абонентов, а к каждому абоненту — 16 устройств, т. е. максимальное количество равно 256. Те устройства, которые имеют выход на ранг 2В, нужно подключать с помощью устройств связи УС 2А/2В, которое в данном случае является абонентом.

Третий ранг связи является уже телемеханическим и предназначен для обмена информацией с рассредоточенными до 15 *км* УВВ. Массивы информации передаются последовательными кодами со скоростью 5 000 *бит/сек*. Двусторонний обмен информацией с указанной скоростью осуществляется по трехпроводной линии связи (выделенным жилам телефонного кабеля).

Особенности структур указанных связей приведены на рис. 36. Здесь для сопряжения процессора с каналами типа 2А предусмотрено устройство мультиплексорной связи (*УМС*), которое называют мультиплексорным каналом. Мультиплексорный канал может получать от процессора несколько заданий на работу с несколькими *УВВ* и выполнять их одновременно, передавая массивы информации небольшими порциями, по одному или несколько байтов (8 двоичных разрядов), и чередуя посылки для разных *УВВ*. Этот режим называют мультиплексорным. Мультиплексорный канал может также работать в монопольном режиме, при котором не разрывается связь с *УВВ* до окончания передачи всего заданного массива. Другой тип канала, который называют селекторным, может работать только в монопольном режиме. Быстродействующие $УВВ_1$—$УВВ_k$, имеющие алгоритм сопряжения типа 2А, подключаются к каналу 2А непосредственно. Связь с подключенными к каналу 2А *УВВ* осуществляется по распределительным (от *УМС*) и собирательным (к *УМС*) группам шин, в каждой из которых имеются шины для передачи адреса или команд, шины для передачи информационных разрядов и шины для передачи служебных сигналов. Для подключения медленнодей-

ствующих *УВВ* к каналу типа 2А предусмотрено устройство сопряжения типа УС 2А/2В. Рассредоточенные *УВВ* подключаются к каналу типа 2А через устройства сопряжения типа УС 2А/3, УС 3/2А или УС 3/2В, а также через устройство типа УС/3 согласно рис. 36.



Преобразование параллельных кодов в последовательные и обратно при передаче по каналам связи третьего ранга осуществляется с помощью регистров сдвига. Движение регистра приемного полукомплекта осуществляется принимаемыми сигналами. Символы единица или нуль передаются двухимпульсными сигналами различной полярности, причем последовательность полярностей для нуля и единицы взаимно инверсна.

Рис. 36. Структура каналов сопряжения процессора АСВТ с сосредоточенными и рассредоточенными устройствами ввода — вывода.

Рядом организаций в СССР на базе КТС—ЛИУС разработаны унифицированные структуры с магистральным каналом связи и с непосредственными связями. В структуре с магистральным каналом связи могут использоваться сопряжения типа 2Б, 2В и 2Г, а в структуре с непосредственными связями — 2А, 2В, 2Г, 2Д, 3.

19. Функциональные структуры

Рассмотрим некоторые возможные варианты функционального построения телемеханизированных комплексов на примерах. Обратимся к принципам иерархической реализации функций регулирования и управления. Функция регулирования обычно заключается в выработке, установке и поддержании заданного значения (задания). Реализация всех этих операций для ряда объектов на одном центральном регуляторе не допускает возможности применения в этом варианте телемеханических устройств. Такая схема регулирования является одноступенчатой.

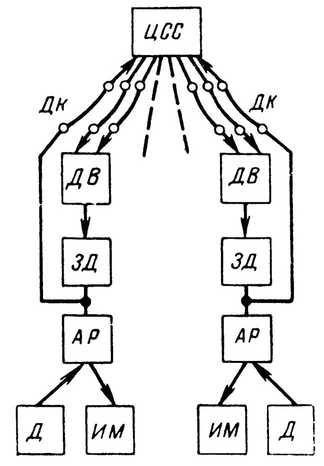


Рис. 37. Блок-схема двухступенчатой дистанционной связи с объектами регулирования.

ЦСС — центральная следящая система; *ДК* — дистанционные каналы; *ДВ* — двигатель; *ЗД* — задатчик; *АР* — автоматический регулятор; *Д* и *ИМ* — датчик и исполнительный механизм.

В двухступенчатой схеме регулирования применение телемеханических устройств уже возможно. В этом случае с целью повышения функциональной надежности управляющие воздействия подают не непосредственно на исполнительные механизмы, а как задания в частные системы автоматической стабилизации параметров объекта. При этом возможны две модификации двухступенчатой структуры. В первой из них отработку задания регулятору осуществляют централизованно, а во второй — с помощью индивидуальных следящих систем.

На рис. 37 приведена блок-схема двухступенчатого регулирования при централизованной отработке заданий регулятору [Л. 105].

Рассмотрим теперь несколько вариантов схемной иерархии реализации функций автоматического управления на примерах схем железнодорожной электрической централизации и систем поточного транспорта. Современные автоматизированные системы электрической централизации стрелок и сигналов по функциональному построению можно разделить на две группы. К первой группе относятся системы с центральным электропитанием и центральными замыканиями. Ко второй группе относятся системы с местным электропитанием и местными замыканиями: системы управления при диспетчерской централизации, системы дистанционного управления и телеуправления на отдельных станциях. В этих системах используются два источника электроснабжения — центральный и местный, две группы каналов связи: объект — местный пост и местный пост — центральный пост, а постовые устройства управления, контроля и замыканий распределяются между центральным постом и необслуживаемым постом.

В системах централизованного управления поточным транспортом применяются: центральное сблокированное управление с дис-

петчерского пункта; местное сблокированное и местное несблокированное [Л. 101]. При этом на низших уровнях может водиться избыточность для обеспечения работы местных систем при отказах центральных.

Системы же оперативного управления почти всегда имеют иерархическую или более сложную структуру.

20. Принципы организации

Можно выделить следующие принципы организации процесса сбора и передачи информации: сбор и передача полного комплекса информации без адаптации; сбор и передача полного комплекса информации в сочетании с адаптацией; сбор и передача частичного комплекса информации в сочетании с моделированием на приемном пункте; сбор и передача частичного комплекса информации в сочетании с предсказанием на приемном пункте.

Наиболее распространенным является принцип сбора полного комплекса информации. В этом случае система строится на полное число заданных объектов и передается вся информация по параметру и во времени для каждого объекта. Полный комплекс информации, однако, нередко является избыточным. Избыточность может быть в информации по одному объекту или по множеству объектов.

Адаптивные (приспосабливающиеся) системы телемеханики могут быть построены путем изменения мощности одиночного импульса, вида модуляции, характера кода и других факторов. При этом всегда предполагается наличие обратной связи, а на приемном конце — решающего устройства. Если при передаче сообщений, например, в двух кодах подряд обнаруживается ошибка, по каналу решающей обратной связи посылается команда на снижение скорости передачи, перестройку кода и т. д. в зависимости от принятой организации адаптации.

В адаптивных системах централизованного сбора информации автоматически изменяется шаг квантования во времени (опроса датчиков), программа опроса, структура или другие параметры системы в зависимости от изменения окружающей обстановки и характера течения контролируемых процессов. В таких системах вводится специальный блок приспособления, который по соответствующему алгоритму осуществляет принятый способ приспособления.

Примером использования принципа моделирования при сборе информации является построение системы сбора транспортной информации на участке ПП. Здесь для получения информации о местонахождении каждого состава используется первоначальный ввод комплекса транспортной информации об участке в некоторый момент времени и дальнейшее моделирование движения составов на информационной машине в режиме производства с помощью специальных «эстафетных схем» или логического следящего устройства по сигналам путевых и сигнальных реле электрической централизации стрелок и сигналов. Указанное моделирование может быть использовано для сокращения потребных датчиков номеров состава, каналов и аппаратуры связи с датчиками или для повышения надежности процессов преобразования и передачи информации.

Предсказание может применяться как по одному параметру, так и по множеству параметров (объектов). В условиях ПП второй вид предсказания представляет, по-видимому, больший интерес. Дело

в том, что в пределах цеха и даже завода между многими параметрами существуют различные функциональные и корреляционные взаимосвязи. Они могут быть использованы либо для сокращения избыточности, либо для повышения точности и надежности. Этот вид предсказания близок к самообучению и самоорганизации системы сбора и передачи, которая в процессе функционирования может определить указанные связи и использовать их в соответствии с требованиями конкретной обстановки.

Таким образом, применение в ТСС принципов организации передачи с использованием адаптации, моделирования и предсказания может привести либо к уменьшению избыточной информации (сокращению аппаратуры и каналов связи), либо к повышению помехоустойчивости и точности.

Литература

1. Лефковиц, Иерархический подход к конструированию систем управления, Труды Американского общества инженеров-механиков, Серия D, 1966, № 2 (русский перевод и Transaction of the ASME»).

2. Шастова Г. А., Кодирование и помехоустойчивость передачи телемеханической информации, изд-во «Энергия», 1966.

3. Пшеничников А. М., Системы и средства передачи телемеханической информации, «Приборы и системы управления», 1967, № 10.

4. Дума М., Сырбу М., Праницкий А., Введение в промышленную телемеханику, изд-во «Мир», 1965.

5. Вальденберг Ю. С., Белостоцкий А. А., Абизов Р. М., Каграманов А. К., Информационная структура системы оперативного управления участком металлургического комбината, Труды ЦНИИКА, 1965, вып. 11.

6. Евтушенко И. Н., Телемеханические сообщения в промышленных телеавтоматических комплексах, сб. «Семинар «Управляющие машины и системы», Киев, 1967, вып. 1.

7. Левин А. А., Хочанский М. Д., Специализированная система телеуправления крышками нагревательных колодцев, Труды ЦНИИКА, 1962, вып. 4.

8. Roth T. E., A computer control hierarchy in a steel plant, «Iron and steel», 1964, vol. 37, № 3, 4.

9. Ильин В. А., Телеконтроль и телеуправление рассредоточенными объектами, Госэнергоиздат, 1963.

10. Лучук А. М., Генерирование и разделение частотных сигналов в телемеханике, изд-во «Технiка», Киев, 1966.

11. Тутевич В. Н., Наумченко В. В., Жуков В. М., Гризодубова О. Н., Временные системы управления на магнитных и ионных элементах, изд-во «Энергия», 1966.

12. Билик Р. В., Жожикашвили В. А., Митюшкин К. Г., Прангишвили И. В., Бесконтактные элементы и системы телемеханики, изд-во «Наука», 1964.

13. Катков Ф. А., Телеуправление, изд-во «Технiка», 1967.

14. Евтушенко И. Н., Пелих Ю. В., Скиба В. А., Толкачев В. Ю., Применение электролитического интегратора в многоканальных телеметрических системах сбора учетной информации, «Приборостроение», 1966, № 8.

15. Овласюк В. Я., Сухопрудский И. Д., Хальков В С, Опыт эксплуатации устройств телеуправления ЭСТ-62, в кн. «Электронные схемы автоматики и защиты тяговых подстанций железных дорог», Труды ВНИИТ, изд-во «Транспорт», 1966, вып. 315

16. Бунин Д. А., Надежность кабелей дальней связи, «Автоматика, телемеханика и связь», 1963, № 10.

17. Хазацкий В. Е., Некоторые вопросы обеспечения надежности передачи информации в системах телемеханики с временным разделением элементов сигнала, Автореферат канд. дисс. МИИТ, 1967.

18. Бердичевский Б. Е., Оценка надежности аппаратуры автоматики, изд-во «Машиностроение», 1966.

19. Малиновский Б. Н., Забара С. С., Исследование надежности управляющей машины «Днепро», «Автоматика и приборостроение», 1963, № 4.

20. Портнов М. Л., Пшеничников А. М., Телемеханическая система для обмена информацией между управляющей вычислительной машиной и технологическими объектами промышленных предприятий, «Автоматика и телемеханика», 1968, № 4.

21. Лысов А. С., Колесников А. А., Крафт Г. А., Опыт эксплуатации телемеханизированной системы электроснабжения металлургического комбината, «Промышленная энергетика», 1967, № 1.

22. Демроу Р., Защита информационных сигналов от помех по цепям заземления, «Электроника», 1968, № 9.

23. Солодов Ю. С., Помехозащищенность измерительных цепей систем обегающего контроля, «Измерительная техника», 1965, № 11.

24. Агранов Д. М., Дмитраков Л. П., Прокопенко В. И., Царьков В. А., Помехозащищенность быстродействующих электроизмерительных систем автоматического контроля и регулирования, «Электричество», 1966, № 8.

25. Виноградов Ю. М., Экспериментальное определение пропускной способности телефонных линий при передаче дискретной информации с помощью быстродействующего телемеханического устройства, «Приборы и средства автоматизации», 1965, вып. 1.

26. Ильин А. А., Мясковский Г. М., Глинка В. И., Методика и некоторые результаты исследований электрических помех в диапазоне 0,15—150 *мгц* на карьерах, сб. «Телемеханика в промышленности», изд-во «Техніка», Киев, 1968

27. Федоровский В. В., Свица Н. Г., Исследование уровня помех и выбор основных параметров аппаратуры радиоуправления в железнорудных карьерах, сб. «Системы и средства автоматизации производства и управления», Труды Киевского института автоматики, ~~т. 2, 1968~~.

28. Гуд Г. Х., Макол Р. Э., Системотехника, изд-во «Советское радио», 1962

29. Ляпунов А. И., Яблонский С. В., Теоретические проблемы кибернетики, «Проблемы кибернетики», Физматгиз, 1962, вып. 9.

30. Глушков В. М. Синтез цифровых автоматов, Физматгиз, 1962.

31. Трапезников В. А., Автоматическое управление и экономика, «Автоматика и телемеханика», 1966, № 1.

32. Ильин В. А., Большие системы телемеханики, изд-во «Энергия», 1967.

33. Виноградов Ю. М., Зубачева И. И., Структура систем и средства передачи информации для промышленных предприятий, «Приборы и системы управления», 1966, № 6.

34. Сотсков В. С., К вопросу о технико-экономической оценке приборов и устройств при их выборе для схем автоматического управления, «Приборостроение», 1962, № 5.

35. Коекин А. И., Шастова Г. А., Оптимальная реализация алгоритма управления в условиях ненадежной аппаратуры, «Автоматика и телемеханика», 1967, № 2.

36. Каплан Г. А., Выбор структуры системы телемеханики для комплексов с сосредоточенными объектами, «Экономика и математические методы», 1966, т. II, вып. 3.

37. Темников Ф. Е., Теория развертывающих систем. Госэнергоиздат, 1963.

38. Юргенсон Р. И., Синтез кодирующих и декодирующих устройств телемеханики дискретного действия, изд. ЛЭТИ, 1959.

39. Ланин М. И., Оценка способов установления связи между блоками телеинформационной системы, «Автоматика и телемеханика», 1964, № 9.

40. Пшеничников А. М., Принципы построения комплексных телеавтоматических систем, кн. «Технические средства автоматики», Труды III Всесоюзного совещания по автоматическому управлению, изд-во «Наука», 1967.

41. Кудрявцев Ю. А., О структурном (блочном) синтезе специализированных вычислительных машин, Известия вузов, «Приборостроение», 1966, № 3.

42. Кельманс А. К., О связности вероятностных сетей, «Автоматика и телемеханика», 1967, № 3.

43. Гаврилов М. А., Структурная теория релейных устройств, ч. I—IV. ВЗЭИ, 1964.

44. Малов В. С., Телемеханика, изд-во «Энергия», 1965.

45. Райнес Р. Л., Горяинов О. А., Телеуправление, изд-во «Энергия», 1965.

46. Купершмидт Я. А., Малов В. С., Пшеничников А. М., Современные телеизмерительные системы, Госэнергоиздат, 1961.

47. Переборов А. С., Седов В. Н., Ратников В. Д., Телеуправление стрелками и сигналами, изд-во «Транспорт», 1965.

48. Луцкий В. А., Расчет надежности и эффективности радиоэлектронной аппаратуры, изд-во «Наукова думка», 1966.

49. Малиновский Б. Н., Специфика проектування керуючих машин, «Автоматика», 1967, № 5.

50. Евтушенко И. Н., Некоторые принципы проектирования структур распределенных информационно-управляющих комплексов, Тезисы докладов Первой республиканской конференции молодых ученых по теоретическим и прикладным вопросам системотехники; ИК АН УССР, 1968.

51. Рогинский В. Н., Проблемы доставки информации, сб. «Информация и кибернетика», изд-во «Советское радио», 1967.

52. Евтушенко И. Н., Структуры схем селекции телемеханических пунктов, «Приборы и системы управления», 1967, № 5.

53. Нежметдинов Т. К., Романов И. М., Асинхронные радиотелемеханические системы (особенности проектирования), Изд-во Казанского университета, 1967.

54. Заездный А. М., Лифшиц Л. Л., Количественные оценки эффективности систем связи, «Электросвязь», 1968, № 5.

55. Коршунов Ю. М., Корячко В. П., Об оптимальном синтезе структур цифровых автоматических устройств. Известия вузов, «Приборостроение», 1967, № 5.

56. Haynes T. L., Time division multiplexing for industrial applications, «Instrum. and Control Syst.», 1964, 37, № 4.

57. Федосенко Г. А., Мелик-Аскаров А. Г., Чуфряков Л. Ф., К вопросу выбора структуры телемеханической системы. кн. «Технические средства автоматики», Труды III Всесоюзного совещания по автоматическому управлению, изд-во «Наука», 1967.

58. Баран П. И., Математическое обоснование мест размещения объектов обслуживания, сб. «Применение математических методов и электронной вычислительной техники в градостроительстве», изд-во «Будивельник», 1966.

59. Воронков И. М., К задаче о точке наименьшего расстояния, Сб. научных трудов Московского горного института, вып. 1, изд. Бюро МГИ, 1935.

60. Темников Ф. Е., Некоторые аспекты теории информации доклады научно-техн. конф. МЭИ, Секция автоматики, вычислительной и измерительной техники, 1965.

61. Толкачев В. Ю., Передача интегральных и усредненных значений параметров в системе «Центротехника», Труды МЭИ, 1963, вып. 52.

62. Мельников Ю. Н., Повышение достоверности передачи информации в сложных системах, использующих ЭВМ, Известия АН СССР, «Техническая кибернетика», 1967, № 1.

63. Передача цифровой информации, Сб. статей, Изд-во иностр. лит., 1963.

64. Ли Р. М., Повышение скорости передачи цифровой информации по телефонным линиям, «Электроника» (русский перевод «Electronics»), 1963, т. 36, № 39.

65. Зяблов Р. П., Процесс передачи информации системами телемеханики, Известия вузов, «Электромеханика», 1968, № 6.

66. Темников Ф. Е., Чин Цзинь-Шан, Надежность информационных сетей, «Приборостроение», 1963, № 6.

67. Королев А. И., Надежность железнодорожной автоматики и телемеханики, изд-во «Транспорт», 1967.

68. Евтушенко И. Н., Терещенко В. А., Тесленко В. П., Усова Л. В., Надежностное моделирование структур информационно-управляющих систем, «Приборы и системы управления», 1967, № 5.

69. Евтушенко И. Н., Черномордик М. Б., Кочин Ю. Я., Оценка надежности сетей связи информационно-управляющих машин с объектами, «Механизация и автоматизация управления», 1967, № 5.

70. Эльдаров Э. А., Анализ целесообразности использования распределительных электрических силовых сетей в качестве канала связи методом теории игр, «Автоматика и телемеханика», 1965, № 10.

71. Евтушенко И. Н., О достоверности передачи двухпозиционных сигналов в схемах контроля и управления, «Автоматика и телемеханика», 1965, № 2.

72. Пути построения надежных электронных систем управления с двоичным действием, Экспресс-информация, «Приборы и элементы автоматики», 1968, № 14.

73. Комплекс частотных устройств для систем контроля и управления, Сб. статей, УкрНИИНТИ, Киев, 1967.

74. Якобсон Б. М., Дмитриев Г. К., Вопросы измерений в централизованных системах контроля и управления, «Измерительная техника», 1964, № 4.

75. Скиба В. А., Пелих Ю. В., Евтушенко И. Н., Толкачев В. Ю., Телемеханический импульсный преобразователь к счетчикам расхода электроэнергии, «Механизация и автоматизация производства», 1966, № 6.

76. Гавриленко В. Ф., Евтушенко И. Н., Пелих Ю. В., Скиба В. А., Буферное запоминание интегрально-импульсных сигналов. «Механизация и автоматизация управления», 1967, № 4.

77. Гавриленко В. Ф., Евтушенко И. Н., Зинченко В. М. и др., Устройство для телемеханической передачи асинхронных импульсных сигналов, Авт. свид. № 222206, Бюллетень изобретений, 1968, № 22.

78. Евтушенко И. Н., Толкачев В. Ю., Способ ввода масштабных коэффициентов измеряемых параметров в многоканальных системах телемеханики, Авт. свид. № 167449, Бюллетень изобретений, 1965, № 1.

79. Нетребенко К. А., Реутов В. Б., Пульты для дистанционной передачи цифровой информации, Бюллетень технико-экономической информации. ГОСИНТИ, 1966, № 9.

80. Устройства связи вычислительной машины с управляемым процессом, Экспресс-информация, «Вычислительная техника», 1968, № 9, реф. 29.

81. Диденко К. И., Марков Б. Ф., Розен Ю. В., Многоканальное устройство связи управляющих вычислительных машин с регуляторами, «Приборы и системы управления», 1968, № 1.

82. Климовицкий М. Д., Автоматическое изменение задания и настройки промышленного регулятора, «Приборостроение», 1962, № 6.

83. Скиба В. А., Евтушенко И. Н., Пелих Ю. В., Червонный И П., Цифровое телекорректирование положения задатчиков в телемеханической системе ближнего действия, «Механизация и автоматизация управления», 1968, № 4.

84. Мелик-Аскаров А. Г., Чуфряков Л. Ф., Федосенко Г. А., Многопроводная кодовая система ТУ—ТИ—ТС для шахт и рудников, сб. «Автоматизация шахт и рудников», «Техника», 1967.

85. Козмидиади В. А., Якобсон Б. М., Агрегатная централизованная система контроля и управления производством, «Приборы и системы управления», 1967, № 1.

86. Джуган Ф. К., Убогий П. С., Устройство передачи дискретной информации между вычислительными машинами УС-1, «Приборы и средства автоматизации», 1965, Вып. 8.

87. Васильев В. М., Евтушенко И. Н., Пелих Ю. В., Привалов Л. Н., Толкачев В. Ю., Устройство телемеханической селекции, «Механизация и автоматизация управления», 1966, № 4.

88. Диденко К. И., Шандрин И. С., Соломко М. В., Цифровая система контроля и управления, УкрНИИНТИ, Киев, 1967.

89. Тэрао М., Охока Т., Мураяма К., Система управления производственными процессами, включающая троичный телеметрический селектор, Труды Первого Международного конгресса ИФАК, изд-во «Наука», т. IV, 1961

90. Евтушенко И. Н., Синтез некоторых преобразователей кодов, «Механизация и автоматизация управления», 1968, № 4.

91. Васильев В. М., Пелих Ю. В., Евтушенко И. Н., Устройство для обнаружения ошибок в параллельном n-разрядном коде с постоянным весом m, Авт. свид. № 215614, Бюллетень изобретений, 1968, № 13.

92. Гольдбаум И. Я., Захаров В. К., Помехозащищенный код для систем дистанционной передачи, «Приборостроение», 1962, № 10.

93. Темников Ф. Е., Ромм Р. Ф., Кормушкин А. В., Мамонова Е. И., Ковалев Л. П., Модернизированная система централизованного контроля «Центротехника-3», «Приборы и системы управления», 1968, № 4.

94. Грудин М. Г., Ланцберг Ф. А., Литвинов А. М, Лукомский Ю. Д., Пашковский М. В., Малопроводный рассредоточенный распределитель для систем сбора информации, «Механизация и автоматизация управления», 1967, № 6.

95. Нетребенко К. А., Реутов В. Б., Цифровой вольтметр в качестве приемника последовательных кодов, «Приборы и системы управления», 1967, № 3.

96. Евтушенко И. Н., Гавриленко В. Ф., Зинченко В. М. и др., Устройство для сопряжения вычислительной машины с двухпозиционными импульсными датчиками, Авт. свид. № 222004, Бюллетень изобретений, 1968, № 22.

97. Жожикашвили И. А., Хорович Б. Г., О вычислении некоторых вероятностных характеристик процесса передачи информации для одного класса систем централизованного контроля, «Автоматика и телемеханика», 1966, № 6.

98. Кузнецов В. К., Технический комплекс системы «Львов», сб. «Автоматизированные системы управления предприятием», изд-во «Наукова думка», 1966.

99. Резанов В. В. и др., Агрегатная система средств вычислительной техники, К, УкрНИИНТИ. НИИУВМ, 1969.

100. Диденко К. И., Доманицкий С. М., Шандрин И. С., Соломко М. В., Васильев Р. Р., Гризодубова О. Н., Унифицированные структуры для систем управления на базе КТС — ЛИУС, К., УкрНИИНТИ, СКБ САУ, 1969.

101. Бондаренко П. С., Автоматизация систем поточного транспорта, изд-во «Энергия», 1965.

102. Гольдгоф Б. Г., Лейбзон Я. И., Соскин Э. А., Автоматизация и телемеханизация энергоснабжения промышленных предприятий, изд-во «Энергия», 1964.

103. Окунев Ю. Б., Яковлев Л. А., Широкополосные системы связи с составными сигналами, изд-во «Связь», 1968.

104 Мешковский К. А., Кириллов И. Е., Кодирование в технике связи, изд-во «Связь», 1966.

105. Горошин О. И., Журавский Ю. П., Многоканальное устройство связи с регуляторами для машины «Днепр», «Механизация и автоматизация производства», 1966, № 4.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 31 коп.

